



**TUGAS AKHIR - ME 141501**

**ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS BALLAST WATER TREATMENT  
DENGAN METODE PEMANASAN GAS BUANG AUXILIARY ENGINE  
UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN INTERNATIONAL BALLAST  
WATER MANAGEMENT PADA KAPAL MT. RH TANKER**

**RIZKY PRADITYA ARDIAN**  
NRP 4213 100 044

Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**TUGAS AKHIR - ME 141501**

**ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS BALLAST WATER  
TREATMENT DENGAN METODE PEMANASAN GAS BUANG  
AUXILIARY ENGINE UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN  
INTERNATIONAL BALLAST WATER MANAGEMENT PADA  
KAPAL MT. RH TANKER**

**RIZKY PRADITYA ARDIAN**  
NRP 4213 100 044

Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**FINAL PROJECT - ME 141501**

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF BALLAST WATER  
TREATMENT BY HEATING METHOD FROM AUXILIARY ENGINE  
EXHAUST GAS TO COMPLY WITH INTERNATIONAL BALLAST  
WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS AT MT. RH TANKER**

**RIZKY PRADITYA ARDIAN**  
NRP 4213 100 044

Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS BALLAST WATER TREATMENT DENGAN METODE PEMANASAN GAS BUANG AUXILIARY ENGINE UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN INTERNATIONAL BALLAST WATER MANAGEMENT PADA KAPAL MT. RH TANKER

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZKY PRADITYA ARDIAN**  
NRP. 4213 100 044

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi

1. Ir. Hari Prastowo, M.Sc.  
NIP. 1965 1030 1991 02 1001

()

2. Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.  
NIP. 1976 0310 2000 03 1001

()

SURABAYA  
JULI, 2017

## LEMBAR PENGESAHAN

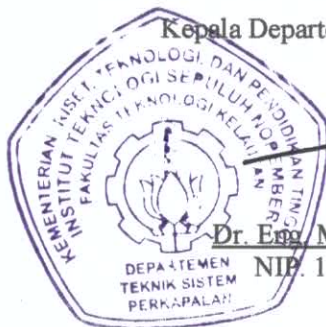
### **ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS BALLAST WATER TREATMENT DENGAN METODE PEMANASAN GAS BUANG AUXILIARY ENGINE UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN INTERNATIONAL BALLAST WATER MANAGEMENT PADA KAPAL MT. RH TANKER**


### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**RIZKY PRADITYA ARDIAN**  
NRP. 4213 100 044

Disetujui oleh  
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



  
Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.  
NIP. 1977 0802 2008 01 1007



# ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS BALLAST WATER TREATMENT DENGAN METODE PEMANASAN GAS BUANG AUXILIARY ENGINE UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN INTERNATIONAL BALLAST WATER MANAGEMENT PADA KAPAL MT. RH TANKER

Nama Mahasiswa : Rizky Praditya Ardian  
NRP : 4213100044  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Prastowo, M.Sc.  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.

## Abstrak

Pertukaran air balas yang dilakukan oleh kapal dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lain dapat menimbulkan masalah. Air balas yang diangkut suatu kapal dapat membawa mikroorganisme – mikroorganisme yang hidup pada lingkungan asal dan kemudian dibuang pada ekosistem yang baru. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem yang baru. Namun, Konvensi Manajemen Air Balas, yang diadopsi pada tahun 2004, bertujuan untuk mencegah penyebaran organisme air berbahaya dari satu daerah ke daerah lain, dengan menetapkan standar dan prosedur untuk pengelolaan dan pengendalian air balas kapal dan sedimen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung, mendesain dan menganalisa serta menghitung nilai ekonomi dari pemanfaatan panas dari gas buang *auxiliary engine* pada kapal MT. RH Tanker untuk membunuh mikroorganisme dengan cara meningkatkan temperatur air balas.

Pada penelitian yang dilakukan untuk memanaskan air balas dibutuhkan panas sebesar 2830,77 kW dengan rincian kalor sensibel sebesar 1674,92 kW serta *heat loss* dari tangki balas dengan air laut dan udara pada ruang muat di atas *tank top* sebesar 1155,85 kW atau sebesar 40,83% dari total kebutuhan panas. Dua buah desain *economizer* yang dirancang pada *software* HTRI untuk memanaskan *thermal oil* sebagai *medium heat transfer* antara *auxiliary engine exhaust gas* dan air balas, pada *economizer* I memiliki *duty* sebesar 338 kW, *over design* sebesar 0,62% serta *pressure drop* sebesar 0,005 kPa dan selanjutnya pada *economizer* II memiliki *duty* sebesar 316 kW, *over design* sebesar 0,74% serta *pressure drop* sebesar 0,006 kPa. *Duty* dari dua buah *economizer* yang telah dirancang secara maksimal tersebut hanya dapat memenuhi kebutuhan panas sebesar 23,1% untuk memanaskan air balas.

Untuk memenuhi kebutuhan panas yang kurang tersebut ditambahkan *additional heater* yaitu *thermal oil boiler* dan dipilih pada kebutuhan *heat output* sebesar 8 Mbtu/Hr atau sebesar 2344,57 kW. Pada perancangan *heat exchanger* dengan *software* HTRI untuk memanaskan air balas dari *thermal oil* didapatkan *duty* sebesar 2844,1 kW, *over design* sebesar 0,91% serta *pressure drop* sebesar 0,382 kPa. Proses sirkulasi dan pemanasan dilakukan selama kondisi *sailing* 67 jam dengan skenario pemanasan per tangki balas. Analisa ekonomi untuk modifikasi sistem balas ini membutuhkan total biaya investasi awal yang mencakup pembelian komponen utama, perlengkapan dan *accessories* serta *additional tank* sebesar Rp.3.397.972.413. Selanjutnya biaya operasional per tahun untuk kebutuhan bahan bakar *light oil* (MDO) untuk *thermal oil*

*boiler* sebesar Rp.9.971.285.244 dan biaya *maintenance* per tahun sebesar Rp.135.918.897.

**Kata Kunci :** Mikroorganisme, Konvensi Manajemen Air Balas, *Economizer*, *Heat Exchanger*, *Thermal Oil*, *Thermal Oil Boiler*, *HTRI software*

# TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF BALLAST WATER TREATMENT BY HEATING METHOD FROM AUXILIARY ENGINE EXHAUST GAS TO COMPLY WITH INTERNATIONAL BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS AT MT. RH TANKER

**Name** : Rizky Praditya Ardian  
**NRP** : 4213100044  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Supervisors** : Ir. Hari Prastowo, MSc.  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.

## Abstract

*The exchange of ballast water which returned by a ship from one port to another can cause problems. Ballast water may carry microorganisms that live in the original environment and then disposed in a new ecosystem. It can cause damage to the new ecosystem. However, Water Management Convention, which adopted in 2004, aims to prevent the spreadness of harmful aquatic organisms from one region to another, by setting standards and procedures for the management and control of water ballast and sediment. The purpose of this study is to calculate, design and analyze and calculate the economical value of heat utilization of the auxiliary engine exhaust gas on vessel MT. RH Tanker to kill microorganisms by increasing tempeature of ballast water*

*In a study conducted to heat ballast water required heat 2830.77 kW with details of sensible heat 1674.92 kW and heat loss of tank with sea water and air in the loading space above the tank top 1155.85 kW or 40,83% of the total heat requirement. Two economizer which has been designed in HTRI software to heat thermal oil as a medium heat transfer between auxiliary engine exhaust gas and ballast water, economizer I has duty 338 kW, over design 0.62% and pressure drop 0.005 kPa and next economizer II has duty 316 kW, over design 0.74% and pressure drop 0.006 kPa. Duty from two economizer that have been designed to the maximum only meet the heat requirement of 23.1% to heat the ballast water.*

*To meet the less requirement of heat is added additional heater that is thermal oil boiler and selected at requirement of heat output 8 M BTU/Hr or equal to 2344,57 kW. In the design of heat exchanger with HTRI software to heat water from thermal oil get the duty 2844.1 kW, over design 0.91% and pressure drop 0.382 kPa. The circulation and heating process carried out during the sailing conditions that is 67 hours with a heating scenario per tank. The economic analysis results of this modification system needs the total initial investment costs which includes the purchase of major components, equipment and accessories and additional tanks Rp.3.397.972.413. Furthermore, the operational cost per year for the needs of light oil fuel (MDO) for thermal oil boiler is Rp.9.971.285.244 and maintenance cost per year is Rp.135.918.897.*

**Keywords** : Microorganism, Ballast Water Management Convention, Economizer, Heat Exchanger, Thermal Oil, Thermal Oil Boiler, HTRI software

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr, wb.

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT., karena atas limpahan berkah dan rahmatnya saya bisa menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan baik. Skripsi yang berjudul “**Analisa Teknis dan Ekonomis *Ballast Water Treatment* dengan Metode Pemanasan Gas Buang *Auxiliary Engine* untuk Memenuhi Persyaratan *International Ballast Water Management* pada Kapal MT. RH Tanker**” ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Departmen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tidak ada yang sempurna di dunia ini. Oleh karena itu saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik, saran, masukan maupun koreksi yang bersifat membangun sangat saya harapkan demi kebaikan dan bertambahnya ilmu pengetahuan yang diperoleh di Departmen Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam pengerjaan skripsi ini, saya pastinya tidak akan bisa menyelesaikan sendiri. Untuk itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam bentuk materiil maupun non materiil, sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Secara khusus saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT., yang selalu memberikan nikmat berupa kesehatan, kesempatan, kelancara, inspirasi, motivasi, keluarga dan teman – teman yang mendukung dalam pengerjaan skripsi ini sehingga bisa terselesaikan dengan baik.
2. Ayah, Ibu, dan Kakak yang telah memberikan motivasi, dorongan dan bantuan berupa materiil maupun non materiil agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Ir. Hari Prastowo, M.Sc, selaku dosen pembimbing pertama yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua dan sebagai dosen yang telah banyak membantu dengan diskusi dalam pengerjaan skripsi.
5. Alumni DTSP, Wiwin Rohmawati, ST., selaku senior yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Teman – teman angkatan 2013 DTSP atas segala bantuan dan motivasinya
7. Senior angkatan 2012 DTSP atas segala bantuan dan motivasinya
8. Teman – teman Laboratorium MMS atas segala bantuan dan motivasinya
9. R. Iftitah, selaku junior dari Departemen Teknik Lingkungan 2014 atas segala bantuan dan motivasinya
10. Kaafin, Ryan, Nabil, Edo, Adi, Yugo, Rizqiyah, Ririn, Balqis, Paramitha, Fathia, dan Mayang, selaku teman terdekat di kampus atas segala bantuan dan motivasinya
11. Indra, Taufik, Asyraf, Mathias, Naufal, dan Bayu, selaku teman SMA yang bersama kuliah di ITS atas segala bantuan dan motivasinya.
12. Teman – teman dari berbagai jurusan di ITS yang telah membantu dalam diskusi mengenai skripsi ini

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para penulis, pembaca dan para pencari ilmu untuk bahan studi selanjutnya.  
Wassalamu'alaikum wr, wb.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
Abstrak .....	v
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Pembatasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.1.1 Wiwin Rohmawati (2017) .....	5
2.1.2 Nicoleta Acomi dan Simona Ghita (2012) .....	5
2.2 Sistem Balas Kapal .....	6
2.3 Aturan IMO (International Maritime Organization) .....	7
2.4 Karakteristik Mikroorganisme .....	10
2.4.1 <i>Toxicogenic vibrio cholera</i> .....	10
2.4.2 <i>Escherichia coli</i> .....	11
2.4.3 <i>Intestinal Enterococci</i> .....	11
2.5 Dampak dari Transportasi Air Balas .....	12
2.5.1 Dampak Ekologi .....	12
2.5.2 Dampak Ekonomi .....	13
2.6 Perlakuan Termal .....	13
2.7 <i>Economizer</i> .....	14
2.8 Alat Penukar Kalor ( <i>Heat Exchanger</i> ) .....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	17
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	17
3.2 Studi Literatur .....	17
3.3 Pengumpulan Data .....	17
3.4 Perhitungan dan Analisa Data .....	17
3.5 Desain <i>Economizer</i> dan <i>Heat Exchanger</i> .....	17
3.7 <i>Practicability and Effectiveness</i> .....	17
3.8 Penyusunan <i>Material Requirement Plan</i> dan Analisa Ekonomi .....	18
3.9 Kesimpulan dan Saran .....	18
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	21
4.1 Data Utama Kapal .....	21
4.2 Data Performa <i>Auxiliary Engine</i> .....	21
4.3 Properti <i>Exhaust Gas Engine</i> .....	23
4.4 Volume Tangki <i>Ballast</i> .....	24

4.5	Properti <i>Thermal Oil</i> .....	25
4.6	Perhitungan Data .....	26
4.6.1	Perhitungan Kebutuhan Panas .....	26
4.6.2	Mass Flow Rate Air Laut .....	37
4.6.3	<i>Mass Flow Rate Thermal Oil</i> .....	38
4.7	Analisa Penggunaan <i>Software</i> HTRI .....	38
4.8	Desain Sistem <i>Ballast Water Treatment</i> .....	49
4.8.1.	<i>Key Plan</i> BWT .....	50
4.8.2.	<i>Engine Room Layout</i> BWT .....	51
4.8.3.	Perhitungan <i>Head Loss</i> Pompa <i>Ballast Water Treatment</i> .....	52
4.8.4.	Perhitungan <i>Head Loss</i> Pompa <i>Thermal Oil</i> .....	55
4.8.6.	Perhitungan Kebutuhan Volume <i>Thermal Oil</i> .....	59
4.8.7.	Perhitungan Volume Kebutuhan <i>Expansion Tank</i> .....	60
4.9	Penyusunan <i>Material Requirement Plan</i> (MRP) .....	60
4.10	Analisa Ekonomi .....	62
4.10.1	Biaya Investasi .....	62
4.10.2	Biaya Operasional .....	66
4.10.3	Biaya <i>Maintenance</i> .....	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	70
DAFTAR PUSTAKA.....		71



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fungsional untuk Pemanasan Air Balas .....	6
Gambar 2.2 Proses Kegiatan Ballasting / Deballasting.....	6
Gambar 2.3 Bakteri <i>V. Cholerae</i> .....	10
Gambar 2.4 Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	11
Gambar 2.5 Bakteri <i>Intestinal Enterococci</i> .....	12
Gambar 2.6 Ilustrasi Pemanasan Air Balas dari Mesin Kapal .....	14
Gambar 2.7 <i>Exhaust Gas Economizer</i> .....	15
Gambar 2.8 <i>Heat Exchanger</i> .....	16
Gambar 2.9 Skema <i>Exhaust Gas, Economizer dan Heat Exchanger</i> .....	16
Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian (Bagian 1) .....	19
Gambar 3.2 Alur Metodologi Penelitian (Bagian 2) .....	20
Gambar 4.1 <i>Exhaust Gas Temperature at 81,95% Load Factor</i> .....	22
Gambar 4.2 <i>Exhaust Gas Mass Flow Rate at 81,95% Load Factor</i> .....	23
Gambar 4.3 <i>Density Exhaust Gas at 80% and 100% Load Factor</i> .....	24
Gambar 4.4 Grafik proses pembakaran mesin .....	24
Gambar 4.5 <i>Input data thermal oil pada software HTRI</i> .....	26
Gambar 4.6 Properti Dowtherm G pada software HTRI.....	26
Gambar 4.7 Skema heat loss pada tangki balas.....	27
Gambar 4.8 Hasil <i>running software HTRI untuk 2D Exchanger Drawing Economizer I</i> .....	40
Gambar 4.9 Hasil <i>running software HTRI untuk 3D Exchanger Drawing Economizer I</i> .....	41
Gambar 4.10 Hasil <i>running software HTRI untuk 2D Exchanger Drawing Economizer II</i> .....	43
Gambar 4.11 Hasil <i>running software HTRI untuk 3D Exchanger Drawing Economizer II</i> .....	44
Gambar 4.12 Hasil <i>running software HTRI untuk Setting Plan Heat Exchanger</i> .....	47
Gambar 4.13 Hasil <i>running software HTRI untuk 3D Exchanger Drawing Heat Exchanger</i> .....	48
Gambar 4.14 <i>Key Plan Ballast Water Treatment (BWT)</i> .....	50
Gambar 4.15 <i>Tank Top Plan Layout BWT</i> .....	51
Gambar 4.16 <i>Platform Plan Layout BWT</i> .....	51
Gambar 4.17 <i>Center Line Looking to Portside View BWT</i> .....	52

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data utama kapal MT. RH Tanker .....	21
Tabel 4.2 Spesifikasi <i>Auxiliary Engine</i> MT. RH Tanker (Bagian 1) .....	21
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>Auxiliary Engine</i> MT. RH Tanker (Bagian 2) .....	22
Tabel 4.4 Properti <i>exhaust gas</i> .....	23
Tabel 4.5 Data volume tangki <i>ballast</i> MT. RH Tanker (Bagian 1).....	24
Tabel 4.6 Data volume tangki <i>ballast</i> MT. RH Tanker (Bagian 2).....	25
Tabel 4.7 Spesifikasi <i>thermal oil</i> .....	25
Tabel 4.8 Kalor sensibel setiap tangki balas .....	27
Tabel 4.9 Heat Loss setiap tangki balas .....	36
Tabel 4.10 Total kebutuhan kalor setiap tangki balas .....	37
Tabel 4.11 Spesifikasi <i>pompa ballast water treatment</i> .....	37
Tabel 4.12 Spesifikasi pompa <i>thermal oil</i> .....	38
Tabel 4.13 Hasil <i>running software</i> HTRI untuk <i>Output Summary economizer I</i> .....	39
Tabel 4.14 Data utama hasil <i>running software</i> HTRI untuk <i>economizer I</i> .....	40
Tabel 4.15 Dimensi <i>Economizer I</i> .....	41
Tabel 4.16 Hasil <i>running software</i> HTRI untuk <i>Output Summary Economizer II</i> .....	42
Tabel 4.17 Data utama hasil <i>running software</i> HTRI untuk <i>Economizer II</i> .....	43
Tabel 4.18 Dimensi <i>Economizer II</i> .....	44
Tabel 4.19 Spesifikasi <i>thermal oil boiler</i> .....	44
Tabel 4.20 Hasil <i>running software</i> HTRI untuk <i>Output Summary Heat Exchanger</i> .....	46
Tabel 4.21 Data Utama Hasil <i>software</i> HTRI untuk <i>Heat Exchanger</i> .....	47
Tabel 4.22 Dimensi <i>Heat Exchanger</i> .....	48
Tabel 4.23 Waktu pemanasan air balas tiap tangki .....	49
Tabel 4.24 <i>Minor losses</i> pada pompa <i>ballast water treatment</i> .....	53
Tabel 4.25 <i>Minor losses</i> pada pompa <i>ballast water treatment</i> .....	54
Tabel 4.26 Spesifikasi pompa <i>ballast water treatment</i> .....	54
Tabel 4.27 <i>Minor losses</i> pada pompa <i>thermal oil</i> .....	56
Tabel 4.28 <i>Minor losses</i> pada pompa <i>thermal oil</i> .....	56
Tabel 4.29 Spesifikasi pompa <i>thermal oil</i> .....	57
Tabel 4.30 <i>Minor losses</i> pada pompa <i>thermal oil tank</i> .....	58
Tabel 4.31 <i>Minor losses</i> pada pompa <i>thermal oil tank</i> .....	59
Tabel 4.32 Spesifikasi pompa <i>thermal oil tank</i> .....	59
Tabel 4.33 Volume <i>thermal oil</i> pada pipa .....	59
Tabel 4.34 Volume <i>thermal oil</i> pada <i>economizer</i> dan <i>heat exchanger</i> .....	60
Tabel 4.35 <i>Material Requirement Plan Ballast Water Treatment System</i> (Bagian 1)....	60
Tabel 4.36 <i>Material Requirement Plan Ballast Water Treatment System</i> (Bagian 2)....	61
Tabel 4.37 <i>Material Requirement Plan Ballast Water Treatment System</i> (Bagian 3)....	62
Tabel 4.38 Biaya Investasi Komponen Utama .....	63
Tabel 4.39 Biaya Investasi Perlengkapan dan <i>Accecories</i> (Bagian 1) .....	63
Tabel 4.40 Biaya Investasi Perlengkapan dan <i>Accecories</i> (Bagian 2) .....	64

Tabel 4.41 Biaya <i>additional tank</i> .....	64
Tabel 4.42 <i>Shipping Cost</i> (Bagian 1) .....	64
Tabel 4.43 <i>Shipping Cost</i> (Bagian 2) .....	65
Tabel 4.44 Biaya Instalasi .....	66
Tabel 4.45 <i>Grand Total Investment Cost</i> .....	66
Tabel 4.46 Biaya bahan bakar MDO.....	66
Tabel 4.47 <i>Summary of Operational Cost</i> .....	67
Tabel 4.48 Biaya <i>Maintenance</i> .....	67
Tabel 4.49 Spesifikasi <i>thermal oil boiler</i> (Skenario pemanasan penuh).....	67
Tabel 4.50 Biaya bahan bakar MDO (Skenario pemanasan penuh).....	68
Tabel 4.51 <i>Summary of Operational Cost</i> (Skenario pemanasan penuh).....	68
Tabel 4.52 Perbandingan biaya operasional.....	68
Tabel 4.53 Perbandingan NPV .....	68

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Project Guide Perkins Auxiliary Engine</i> (Bagian 1).....	73
Lampiran 2. <i>Project Guide Perkins Auxiliary Engine</i> (Bagian 2).....	74
Lampiran 3. <i>Project Guide Dowtherm G Fluid</i> .....	75
Lampiran 4. <i>Heat Loss</i> pada bagian dinding samping kapal (Bagian 1).....	77
Lampiran 5. <i>Heat Loss</i> pada bagian dinding samping kapal (Bagian 2).....	78
Lampiran 6. <i>Heat Loss</i> pada bagian <i>bottom</i> kapal (Bagian 1).....	79
Lampiran 7. <i>Heat Loss</i> pada bagian <i>bottom</i> kapal (Bagian 2).....	80
Lampiran 8. <i>Heat Loss</i> pada bagian <i>tank top</i> kapal (Bagian 1).....	81
Lampiran 9. <i>Heat Loss</i> pada bagian <i>tank top</i> kapal (Bagian 2).....	82
Lampiran 10. Tabel Waktu Pemanasan tiap Tangki Balas terhadap Temperatur .....	83
Lampiran 11. Waktu Pemanasan Setiap Tangki Balas dalam Grafik (Bagian 1).....	85
Lampiran 12. Waktu Pemanasan Setiap Tangki Balas dalam Grafik (Bagian 2).....	86
Lampiran 13. Waktu Pemanasan Setiap Tangki Balas dalam Grafik (Bagian 3).....	87
Lampiran 14. <i>Project Guide Fulton Thermal Oil Boiler</i> .....	88
Lampiran 15. <i>Project Guide SILI Pump for Ballast Water Treatment Pump</i> .....	89
Lampiran 16. <i>Project Guide SILI Pump for Thermal Oil and Thermal Oil Tank Pump</i>	90
Lampiran 17. Tabel Perhitungan <i>Packaging Cost</i> (Bagian 1).....	91
Lampiran 18. Tabel Perhitungan <i>Packaging Cost</i> (Bagian 2).....	92
Lampiran 19. Biaya Investasi <i>Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler</i> .....	93
Lampiran 20. Biaya Investasi <i>Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler</i> .....	94
Lampiran 21. Biaya Investasi <i>Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler</i> .....	95
Lampiran 22. Biaya Investasi <i>Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler</i> .....	96
Lampiran 23. Biaya Investasi <i>Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler</i> .....	97
Lampiran 25. Biaya <i>Maintenance Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil</i>	98

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air telah digunakan sebagai balas untuk menstabilkan kapal-kapal di laut selama lebih dari seratus tahun. Air balas dipompa dalam kapal untuk menjaga kondisi operasi yang baik sepanjang perjalanan. Hal ini penting untuk operasi pelayaran modern yang aman dan efisien. Penerapan ini mengurangi *stress* pada lambung, menyediakan stabilitas melintang, meningkatkan tenaga penggerak dan manuver, dan mengkompensasi penurunan berat karena bahan bakar dan konsumsi air. Pelayaran bergerak lebih dari 80% dari seluruh komoditas dunia dan mentransfer sekitar tiga sampai lima miliar ton air balas internasional setiap tahun. Air balas penting untuk keamanan dan efisien pada operasi pelayaran modern, menyediakan keseimbangan dan stabilitas untuk *unladen ships* [1].

Air balas adalah air dengan segala hal yang terkandung yang diambil oleh kapal untuk mengontrol keseimbangan, kemiringan, sarat, stabilitas atau tekanan kapal [2]. Sistem Balas merupakan salah satu sistem dalam kapal yang memiliki fungsi sangat penting dalam mengatur stabilitas kapal. Sistem Balas digunakan ketika kapal tidak membawa muatan. Ketika kapal membawa muatan, maka air balas akan dikeluarkan dari tangki balas kapal. Sistem balas juga digunakan untuk menjaga stabilitas kapal saat proses bongkar muat berlangsung.

Pertukaran air balas yang dilakukan oleh kapal dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lain dapat menimbulkan masalah. Air balas yang diangkut suatu kapal dapat membawa mikroorganisme – mikroorganisme yang hidup pada lingkungan asal dan kemudian dibuang pada lingkungan atau ekosistem yang baru. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem yang baru (ekosistem tujuan) [3]. Spesies air invasif merupakan ancaman utama bagi ekosistem laut dan pelayaran telah diidentifikasi sebagai jalan utama untuk memperkenalkan spesies dengan lingkungan baru. Masalah dalam meningkatnya perdagangan dan volume lalu lintas berkembang selama beberapa dekade terakhir, dan khususnya dengan pengenalan lambung baja, yang memungkinkan kapal untuk menggunakan air dan bukan bahan padat sebagai balas/pemberat. Efek dari pengenalan spesies baru memiliki di banyak daerah di dunia telah menghancurkan. Data kuantitatif menunjukkan tingkat bio-invasi terus meningkat pada tingkat yang mengkhawatirkan. Sebagai volume perdagangan yg berlayar di laut terus menerus secara keseluruhan meningkat, masalah mungkin belum mencapai puncaknya.

Namun, Konvensi Manajemen Air Balas, yang diadopsi pada tahun 2004, bertujuan untuk mencegah penyebaran organisme air berbahaya dari satu daerah ke daerah lain, dengan menetapkan standar dan prosedur untuk pengelolaan dan pengendalian air balas kapal dan sedimen [4].

Perlakuan termal adalah teknik yang dapat digunakan untuk membunuh spesies asing atau *Nonindigenous Species (NIS)* dalam air balas dengan pemanasan balas pada temperatur yang cukup tinggi untuk membunuh *NIS* sebelum air dibuang [5]. Pemanasan air balas telah disajikan sebagai metode pengolahan yang berdasarkan teoritis [6] dan percobaan laboratorium [7].

Di dalam penelitian ini, peneliti fokus pada penggunaan panas dari gas buang *Auxiliary Engine* karena dapat memberikan solusi teknis dalam pengolahan air balas.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Apakah metode pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* dapat membunuh mikroorganisme di dalam air balas?
2. Bagaimana spesifikasi *Economizer* yang sesuai dari perhitungan kebutuhan panas yang didistribusikan ke tangki - tangki balas kapal?
3. Bagaimana pemasangan instalasi sistem penanganan air balas dengan metode pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* menuju tangki balas kapal?
4. Apakah pemasangan sistem penanganan air balas dengan metode pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* telah memenuhi 5 kriteria utama yang ditetapkan oleh IMO?
5. Berapa biaya awal, *operational* dan *maintenance* dari sistem penanganan air balas dengan metode pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* ?

## 1.3 Tujuan

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah di atas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* terhadap kematian mikroorganisme sebagai salah satu metode pengolahan air balas pada kapal
2. Menghitung kebutuhan energi panas terhadap mikroorganisme dan skenario pemanasannya
3. Membuat modifikasi desain, *key plan* dan *Material Requirement Plan* (MRP) pemanasan air balas dari gas buang *Auxiliary Engine*
4. Mengetahui apakah kriteria utama pengolahan air balas dengan metode pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* dapat terpenuhi
5. Mengetahui biaya awal, *operational* dan *maintenance* dari sistem penanganan air balas dengan metode pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine*

## 1.4 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Dalam Tugas Akhir ini akan menggunakan data utama kapal dan spesifikasi *Auxiliary Engine* kapal MT. RH Tanker
2. Sumber Panas sesuai dengan spesifikasi dari *exhaust gas Auxiliary Engine* MT. RH Tanker
3. Tugas akhir ini mengacu pada standar *International Maritime Organization* (IMO)

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :



1. Mendapatkan sebuah sistem baru untuk pengolahan air balas dengan pemanasan dari gas buang *Auxiliary Engine* yang ramah lingkungan
2. Sebagai upaya mengurangi pencemaran air laut akibat pertukaran mikroorganisme dari pembuangan air balas
3. Bagi masyarakat, mengurangi resiko penyebaran penyakit melalui pertukaran air balas
4. Bagi regulasi dunia maritim (*International Maritime Organization*), sebagai rekomendasi inovasi pengolahan air balas pada kapal.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Pada subbab ini, akan dibahas penelitian – penelitian terdahulu mengenai pemanasan dari gas buang untuk pengolahan air balas kapal yang akan dijadikan dasar pertimbangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

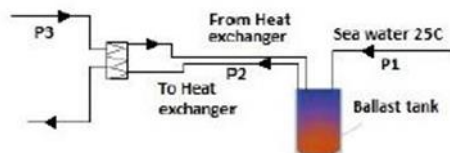
##### **2.1.1 Wiwin Rohmawati (2017)**

Pada penelitian yang dilakukan, diketahui *recovery* panas dari mesin induk MV. Leader Win dapat diterima menjadi salah satu metode pengolahan air balas sesuai persyaratan *International Ballast Water Management*. Hal tersebut terbukti dari perhitungan dan analisa bagaimana panas gas buang ditransfer menuju tangki balas menggunakan *Software Heat Transfer Research Inc. (HTRI)*. Skenario opsi pertama adalah sistem menggunakan *economizer* dan *bundle*. Panas dari *economizer* menuju *bundle* dibawa oleh *thermal oil* sebagai *medium heat transfer*. Skenario opsi kedua sistem menggunakan *economizer* dan *heat exchanger*. *Thermal Oil* disirkulasikan dari *economizer* menuju *heat exchanger* dan air laut disirkulasikan dari tangki balas menuju *heat exchanger* [6].

##### **2.1.2 Nicoleta Acomi dan Simona Ghita (2012)**

Pada penelitian yang dilakukan, peneliti menyajikan suatu sistem untuk memulihkan panas dari mesin utama untuk menaikkan temperatur air balas dan dampak dari berbagai tahap pemanasan pada total jumlah mikroorganisme. Air balas dipanaskan menggunakan sistem pendingin mesin. Ini adalah metode yang efisien karena air pendinginan kemungkinan besar akan dibuang ke laut jika tidak digunakan untuk memanaskan air balas. Manfaat lain untuk metode ini adalah bahwa tidak dihasilkan produk sampingan kimia.

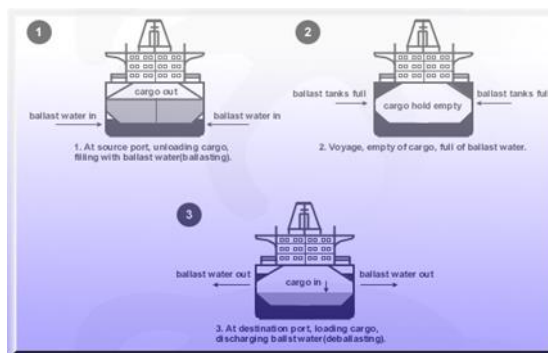
Modifikasi pertama dari sistem balas terdiri dari mengarahkan air laut yang digunakan sebagai agen pendingin untuk sistem pendinginan temperatur rendah mesin utama, ke dalam tangki balas. air laut ini biasanya dibuang melalui *overboard* dan total debit dari garis *overboard* adalah 1370 m<sup>3</sup>/h berdasarkan *Kongsberg Maritime*, MAN B&W 5L90MC program simulasi mesin utama (dipasang di Constanta Maritime University). Temperatur yang dicapai tidak cukup untuk membunuh mikroorganisme; jadi menggunakan 20 persen dari aliran air tawar, dari sistem pendingin temperatur tinggi mesin utama memanaskan pada temperatur 80°C. Total debit dari sistem pendinginan temperatur tinggi yaitu 225 m<sup>3</sup>/h dan langsung melalui pompa P3 dengan debit 45 m<sup>3</sup>/h dari total laju aliran, untuk penukar panas yang akan menaikkan temperatur air laut dari tangki balas hingga nilai yang dibutuhkan.



Gambar 2.1 Diagram Fungsional untuk Pemanasan Air Balas

Metode pengolahan dibatasi oleh jumlah panas yang disediakan oleh mesin, sehingga jumlah air balas untuk diolah harus dibandingkan dengan panas yang dilepaskan oleh mesin. Penukar panas harus benar sesuai dimensi atas karakteristik teknis yang disebutkan dari mesin dan juga tergantung pada periode waktu yang dibutuhkan oleh netralisasi mikroorganisme [9].

## 2.2 Sistem Balas Kapal



Gambar 2.2 Proses Kegiatan Ballasting / Deballasting

(<http://lokerpelaut.com/wp-content/uploads/2014/11/sistem-ballas-kapal.jpg>)

Jumlah, volume dan distribusi tangki balas adalah terkait tipe dan ukuran kapal. Tangki balas dapat diletakkan di tangki *double bottom* (DBT—*double bottom tanks*), sepanjang sisi bagian *portside* dan *starboard* (ST—*Side Tanks* atau WT—*Wing Tanks*), dalam *bow* kapal (FPT—*Forepeak Tank*), di buritan (APT—*After Peak Tank*), *port* dan *starboard* di bawah dek utama (TST—*Topside Tanks* atau *Upper Wing Tanks*), dan lainnya (misalnya, CT—*Central Tanks*). Meskipun tangki FPT dan APT umumnya pada semua jenis kapal, beberapa tidak memiliki tangki ini, misalnya, The Hamburg Express kelas kapal *container*. Beberapa kapal-kapal lama, terutama tanker, juga menggunakan ruang kargo (atau tangki kargo masing-masing) untuk balas, tapi saat ini kapal memiliki tangki yang dikhususkan hanya untuk balas, yaitu tangki balas yang terpisah. Kasus spesifik saat ini untuk balas di ruang kargo mungkin berlaku untuk kapal - kapal besar, yang mungkin memuat air di beberapa pusat ruang kargo selama berlayar yang disebut "*heavy ballast condition*" yang ketika terkena pada kondisi laut berat.

Tangki balas dihubungkan dengan pompa air balas oleh pipa air balas. Air dari kapal sekitarnya dimuat di kapal melalui kotak *sea-chest* dan *strainer* melalui pipa balas ke tangki balas. Di dalam tangki balas, air dimuat dan dibuang melalui pipa air balas. Kapal-

kapal dengan kapasitas balas besar biasanya dilengkapi dengan dua pompa balas untuk memastikan transaksi operasi air balas dilakukan bahkan jika terjadi kegagalan satu pompa, sementara beberapa kapal yang kecil dapat menggunakan pompa *service* juga untuk operasi balas.

Tangki balas dapat diakses/masuk untuk pemeliharaan, pembersihan dan keperluan lainnya melalui *manholes* atau lubang tangki. Tangki balas dilengkapi dengan ventilasi udara, yang memungkinkan udara di tangki balas akan dikeluarkan dari tangki untuk mencegah tekanan berlebih ketika tangki balas diisi, atau untuk membiarkan udara dan mencegah tekanan yang kurang ketika tangki balas dikosongkan.

Hal ini benar-benar penting untuk mengetahui berapa banyak balas di setiap tangki untuk dapat menyediakan kebutuhan kelayakan kapal. Pada kapal kapal terdahulu, pengukuran dilakukan melalui pipa *sounding*, dan kemudian dilihat pada *sounding tables*. Kuantitas air balas dapat dihitung. Sebagian besar kapal - kapal modern dilengkapi dengan instrumen yang mengaktifkan pengukuran otomatis kuantitas air balas di tangki balas, sementara ini masih perlu dilengkapi dengan pipa *sounding* untuk memungkinkan pengukuran langsung dalam kasus kegagalan sistem otomatis.

Air balas dibuang melalui *overboard*, dimana sebagian besar kapal diletakkan di bawah level permukaan air. Pada beberapa kapal, air balas dibuang pada situasi di atas level permukaan air, dan terutama pada kapal jenis *bulk carriers* air balas dapat dibuang langsung dari *topside tanks* di atas level permukaan air [10].

## 2.3 Aturan IMO (International Maritime Organization)

### *Regulation For The Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments*

#### Section B – Persyaratan Manajemen dan Kontrol untuk Kapal

##### Regulasi B-3 Manajemen Air Balas untuk Kapal

1. Kapal yang dibangun sebelum 2009 :
  - 1) Dengan kapasitas air balas antara 1.500 dan 5.000 meter kubik, inklusif, akan melakukan manajemen air balas bahwa setidaknya memenuhi standar yang dijelaskan dalam regulasi D-1 atau regulasi D-2 sampai tahun 2014, setelah waktu itu sekurang-kurangnya memenuhi standar yang dijelaskan dalam regulasi D-2;
  - 2) dengan kapasitas air balas kurang dari 1.500 atau lebih besar dari 5.000 meter kubik akan melakukan manajemen air balas bahwa setidaknya memenuhi standar yang dijelaskan dalam regulasi D-1 atau regulasi D-2 sampai 2016, setelah waktu itu sekurang-kurangnya memenuhi standar yang dijelaskan dalam regulasi D-2.
2. Sebuah kapal yang pada poin 1 berlaku harus mematuhi poin 1 tidak lebih dari yang pertama survey menengah atau pembaharuan, mana yang lebih dahulu, setelah tanggal *anniversary* pengiriman kapal pada tahun sesuai dengan standar yang berlaku ke kapal.
3. Sebuah kapal yang dibangun di atau setelah 2009 dengan kapasitas air balas kurang dari 5.000 meter kubik akan melakukan manajemen air balas bahwa setidaknya memenuhi standar yang dijelaskan dalam regulasi D-2.

4. Sebuah kapal dibangun di atau setelah 2009, tetapi sebelum 2012, dengan kapasitas air balas 5.000 meter kubik atau lebih wajib melakukan manajemen air balas sesuai dengan poin 1.2.
5. Sebuah kapal yang dibangun di atau setelah 2012 dengan kapasitas air balas 5.000 meter kubik atau lebih wajib melakukan manajemen air balas bahwa setidaknya memenuhi standar yang dijelaskan dalam regulasi D-2.
6. Persyaratan peraturan ini tidak berlaku untuk kapal-kapal yang *discharge* air balas ke fasilitas penerimaan dirancang dengan mempertimbangkan Pedoman dikembangkan oleh Organisasi untuk fasilitas tersebut.
7. Metode lain dari manajemen air balas juga dapat diterima sebagai alternatif untuk persyaratan yang dijelaskan dalam poin 1 sampai 5, dengan ketentuan bahwa metode tersebut memastikan setidaknya tingkat perlindungan yang sama terhadap lingkungan, kesehatan manusia, properti atau sumber daya, dan disetujui secara prinsip oleh Komite.

#### Section D - Standar Manajemen Air Balas

##### Regulasi D-1 Standar Pertukaran Air Balas

1. Performa pertukaran air balas di kapal sesuai dengan peraturan dengan efisiensi minimal 95% pertukaran volumetrik air balas
2. Untuk kapal dengan metode *pumping-through*, kemampuan pompa harus dapat memompa terus menerus selama pengisian 3x volume tangki balas untuk memenuhi standar sesuai dengan poin 1. Metode *pumping-through* terus menerus yang kurang dari 3x volume boleh diterima disediakan di kapal yang dapat menunjukkan sedikitnya 95% pertukaran volumetrik terpenuhi.

##### Regulasi D-2 Standar Performa Air balas

1. Kapal dengan sistem manajemen air balas sesuai dengan peraturan tidak boleh mengeluarkan lebih dari 10 organisme hidup tiap meter kubik lebih besar dari atau setara dengan ukuran 50 mikrometer dalam dimensi minimum dan tidak boleh mengeluarkan lebih dari 10 organisme hidup tiap mililiter kurang dari 50 mikrometer dalam dimensi minimum dan lebih dari atau setara dengan 10 mikrometer dalam dimensi minimum; dan indikator *discharge* mikroorganisme tidak boleh melebihi konsentrasi yang ditentukan pada poin ke 2.
2. Indikator mikroba, sebagai standar kesehatan manusia, meliputi :
  - 1) *Toxicogenic vibrio cholera* (O1 dan O139) dengan kurang dari 1 cfu (*colony forming unit*) tiap 100 mililiter atau kurang dari 1 cfu per 1 gram (*wet weight*) sampel zooplankton
  - 2) *Escherichia coli* kurang dari 250 cfu per 100 mililiter
  - 3) *Intestinal Enterococci* kurang dari 100 cfu per 100 mililiter

##### Regulasi D-3 Persyaratan Persetujuan untuk Manajemen Sistem Air Balas

1. Kecuali sebagaimana dimaksud pada poin 2, sistem manajemen air balas digunakan untuk mematuhi Konvensi ini harus disetujui oleh Administrasi memperhatikan Pedoman yang dikembangkan oleh Organisasi.

2. Sistem Manajemen Air Balas yang menggunakan Zat Aktif atau olahan yang mengandung satu atau lebih Zat Aktif untuk mematuhi Konvensi ini harus disetujui oleh Organisasi, berdasarkan prosedur yang dikembangkan oleh Organisasi. Prosedur ini harus menjelaskan persetujuan dan penarikan persetujuan Zat Aktif dan cara yang diusulkan untuk aplikasi. Pada penarikan persetujuan, penggunaan Zat Aktif yang relevan atau Zat dilarang dalam waktu 1 tahun setelah tanggal penarikan tersebut
3. Sistem Manajemen Air Balas digunakan untuk mematuhi Konvensi ini harus aman dalam kapal, peralatan dan awak.

#### Regulasi D-4 *Prototype* Teknologi Pengolahan Air Balas

1. Untuk setiap kapal, sebelum tanggal yang standar dalam regulasi D-2 akan dinyatakan menjadi efektif untuk itu, berpartisipasi dalam program yang disetujui oleh Administrasi untuk menguji dan mengevaluasi menjanjikan teknologi pengolahan air balas, standar dalam regulasi D-2 tidak berlaku untuk kapal yang sampai lima tahun dari tanggal kapal akan diwajibkan untuk memenuhi standar tersebut.
2. Untuk setiap kapal, setelah tanggal dimana standar dalam regulasi D-2 telah menjadi efektif untuk itu, berpartisipasi dalam program yang disetujui oleh Administrasi, dengan Pedoman yang dikembangkan oleh Organisasi, untuk menguji dan mengevaluasi menjanjikan teknologi air balas dengan potensi untuk menghasilkan teknologi pengolahan mencapai standar yang lebih tinggi dari itu dalam regulasi D-2, standar dalam regulasi D-2 tidak berlaku lagi untuk kapal itu selama lima tahun dari tanggal pemasangan teknologi tersebut.
3. Dalam menetapkan dan melaksanakan program untuk menguji dan mengevaluasi menjanjikan teknologi air balas, Pihak-pihak harus :
  - 1) Memperhitungkan Pedoman yang dikembangkan oleh Organisasi, dan
  - 2) Memungkinkan partisipasi hanya dengan jumlah minimum kapal yang diperlukan untuk secara efektif menguji teknologi tersebut.
4. Sepanjang periode pengujian dan evaluasi, sistem pengolahan harus dioperasikan secara konsisten dan seperti yang dirancang.

#### Regulasi D-5 Ulasan Standar oleh Organisasi

1. Pada pertemuan Komite yang diadakan tidak lebih dari tiga tahun sebelum tanggal efektif awal dari standar yang ditetapkan dalam regulasi D-2, Komite harus mengadakan peninjauan yang mencakup penentuan apakah teknologi yang tepat tersedia untuk mencapai standar, penilaian terhadap kriteria dalam poin 2, dan penilaian terhadap dampak sosial-ekonomi khusus dalam kaitannya dengan kebutuhan pembangunan negara-negara berkembang, khususnya pulau kecil dan negara berkembang. Komite juga akan melakukan tinjauan periodik, sesuai untuk memeriksa persyaratan yang berlaku untuk kapal yang dijelaskan dalam regulasi B-3.1 serta aspek lain dari Manajemen Air Balas dibahas dalam lampiran ini, termasuk Pedoman yang dikembangkan oleh Organisasi.
2. Ulasan seperti teknologi tepat guna juga harus memperhitungkan :
  - 1) Pertimbangan keselamatan yang berkaitan dengan kapal dan awak;

- 2) Penerimaan lingkungan, yaitu tidak menyebabkan lebih atau dampak lingkungan yang lebih besar dari yang mereka berikan solusi;
  - 3) *Practicability*, yaitu kompatibilitas dengan desain kapal dan operasi;
  - 4) Efektivitas biaya, yaitu, ekonomi; dan
  - 5) Efektivitas biologis dalam hal menghilangkan organisme perairan berbahaya dan patogen di air balas.
3. Komite dapat membentuk kelompok untuk melakukan ulasan yang digambarkan dalam poin 1. Komite akan menentukan komposisi, kerangka acuan dan isu-isu spesifik yang harus ditangani oleh kelompok tersebut yang dibentuk. Kelompok - kelompok tersebut dapat mengembangkan dan merekomendasikan proposal untuk amandemen Lampiran ini untuk dipertimbangkan oleh Pihak - pihak. Hanya pihak - pihak dapat berpartisipasi dalam perumusan rekomendasi dan keputusan amandemen yang diambil oleh Komite.
  4. Jika, berdasarkan tinjauan yang dijelaskan dalam regulasi ini, para pihak memutuskan untuk mengadopsi amandemen lampiran ini, amandemen tersebut harus diadopsi dan berlaku sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam artikel 19 Konvensi ini [2].

## 2.4 Karakteristik Mikroorganisme

### 2.4.1. *Toxicogenic vibrio cholera*

*Vibrio cholerae* adalah bakteri gram negatif dan yang tidak membentuk spora. Ini adalah organisme penyebab kolera, penyakit manusia serius yang bertanggung jawab untuk banyak wabah fatal sepanjang sejarah. Meskipun kolera biasanya berhubungan dengan kebersihan yang buruk dan kontaminasi feses, penyakit ini juga dapat ditularkan melalui makanan.



Gambar 2.3 Bakteri *V. Cholerae*  
([http://parasites.ftz.czu.cz/food/\\_data/272.jpg](http://parasites.ftz.czu.cz/food/_data/272.jpg))

Tidak semua turunan *V. cholerae* penyebab kolera. Turunan (atau serotipe) menyebabkan wabah klasik kolera yang O1 dan O139, tapi jarang ada laporan non-O1/O139 serotipe menyebabkan seperti penyakit kolera. *V. cholerae* dapat tumbuh selama rentang suhu 10-43°C, dengan optimal 37°C. Organisme ini dapat meningkat dengan cepat di temperatur yang diproses makanan dimana ada sedikit mikroflora bersaing. Hal ini juga dapat bertahan untuk periode lama dibawah pendinginan dan dilaporkan untuk bertahan hidup dalam kondisi lembab, rendah asam pada pendinginan makanan untuk 2 minggu atau lebih. Hal ini juga dapat bertahan hidup untuk waktu yang lama di temperatur beku.



Kisaran pH untuk pertumbuhan *V. cholerae* adalah 5,0-9,6, dengan nilai optimum 7,6. Hal ini toleran terhadap kondisi pH tinggi tetapi tidak asam dan cepat tidak aktif pada nilai pH <4,5 pada temperatur kamar. *V. cholerae* tidak seperti *Vibrio spp.* lainnya, tidak memiliki syarat mutlak garam untuk tumbuh, meskipun pertumbuhannya ditingkatkan dengan adanya konsentrasi rendah garam. Organisme ini sensitif terhadap pengeringan dan bertahan kurang dari 48 jam dalam makanan kering. *V. cholerae* adalah anaerob fakultatif (tumbuh dengan atau tanpa oksigen). Bakteri tumbuh terbaik, namun, di bawah kondisi aerobik. Organisme ini tidak tahan terhadap sterilisasi biasanya digunakan dalam kondisi pengolahan makanan. *V. cholerae* tidak tahan panas dan dibunuh temperatur pasteurisasi dengan 60°C selama 2,65 menit dan 71°C selama 0,30 menit yang dilaporkan. Memasak untuk 70°C biasanya cukup untuk memastikan inaktivasi *V. Cholerae* [11].

### 2.4.2. *Escherichia coli*

Bakteri *E. coli* merupakan spesies dengan habitat alami dalam saluran pencernaan manusia maupun hewan. *E. coli* pertama kali diisolasi oleh Theodor Escherich dari tinja seorang anak kecil pada tahun 1885. Bakteri ini berbentuk batang, berukuran 0,4-0,7 x 1,0-3,0 µm, termasuk gram negatif, dapat hidup soliter maupun berkelompok, umumnya motil, tidak membentuk spora, serta fakultatif anaerob.



Gambar 2.4 Bakteri *Escherichia coli*

([http://www.biocote.com/wp-content/uploads/2014/04/e.coli\\_.png](http://www.biocote.com/wp-content/uploads/2014/04/e.coli_.png))

Bakteri *E. coli* dapat membentuk koloni pada saluran pencernaan manusia maupun hewan dalam beberapa jam setelah kelahiran. Faktor predisposisi pembentukan koloni ini adalah mikroflora dalam tubuh masih sedikit, rendahnya kekebalan tubuh, faktor stres, pakan, dan infeksi agen patogen lain. Kebanyakan *E. coli* memiliki virulensi yang rendah dan bersifat oportunistik. *E. coli* keluar dari tubuh bersama tinja dalam jumlah besar serta mampu bertahan sampai beberapa minggu. Kelangsungan hidup dan replikasi *E. coli* di lingkungan membentuk koliform. *E. coli* tidak tahan terhadap keadaan kering atau desinfektan biasa. Bakteri ini akan mati pada suhu 60°C selama 30 menit [12].

### 2.4.3. *Intestinal Enterococci*

Nama "*Enterocoque*" pertama kali digunakan oleh Thiercelin pada surat kabar di Prancis pada tahun 1899 untuk mengidentifikasi organisme pada saluran intestinal. Pada tahun 1930, Lancefield mengelompokkan *Enterococci* sebagai *Streptococci* grup D. Kemudian pada tahun 1937, Sherman mengajukan skema klasifikasi dimana nama *enterococci* hanya digunakan untuk *streptococci* yang dapat tumbuh pada 10°C dan 45°C, pada pH 9,6 dan dalam 6,5% NaCl dapat bertahan pada suhu 60°C selama 30 menit.

Akhirnya pada tahun 1980-an, berdasarkan perbedaan genetik, *enterococci* dipindahkan dari genus *Streptococcus* dan ditempatkan digenusnya sendiri yaitu *Enterococcus*.



Gambar 2.5 Bakteri *Intestinal Enterococci*

(<http://imgc.allpostersimages.com/images/P-473-488-90/64/6477/5JF6100Z/posters/kessel-shih-enterococcus-bacteria-formerly-streptococcus-faecalis-lives-normally-in-the-intestines.jpg>)

*Enterococcus faecalis* merupakan bakteri yang tidak membentuk spora, tidak bergerak, metabolisme fermentatif (karbohidrat menjadi asam laktat), fakultatif anaerob, kokus gram positif dan tidak menghasilkan reaksi katalase dengan hydrogen peroksida. Bakteri ini berbentuk ovoid dengan diameter 0,5-1  $\mu\text{m}$  dan terdiri dari rantai pendek, berpasangan atau bahkan tunggal [13].

## 2.5 Dampak dari Transportasi Air Balas

Mayoritas terbesar spesies air yang dibawa di dalam air balas tidak bertahan selama pelayaran, karena kondisi siklus *ballasting* dan *de-ballasting* dan kondisi lingkungan di dalam tangki balas bisa sangat memusuhi organisme hidup. Bahkan bagi organisme yang bertahan selama pelayaran dan dibuang, kemungkinan bertahan dalam lingkungan yang baru mungkin lebih berkurang, tergantung pada kondisi lingkungan dan predasi oleh dan / atau persaingan dari spesies asli. Namun, ketika semua faktor yang menguntungkan, sebuah pengenalan spesies dapat bertahan hidup untuk membangun reproduksi populasi dalam lingkungan baru. Bahkan mungkin menjadi invasif, keluar-bersaing dengan spesies asli dan menggandakan dalam proporsi hama [14].

### 2.5.1 Dampak Ekologi

Semestinya spesies yang diperkenalkan menjadi penyerbu organisme sukses di lingkungan baru, organisme dapat menyebabkan berbagai dampak ekologis. Ini termasuk bersaing dengan spesies asli untuk ruang dan makanan, memangsa spesies asli, mengubah habitat, mengubah kondisi lingkungan (contoh : meningkat kejernihan air karena secara massal memakan atau menjadi filter), mengubah jaringan makanan dan ekosistem secara keseluruhan dan menggusur spesies asli, mengurangi keanekaragaman hayati asli dan bahkan menyebabkan kepunahan lokal.

Program Lingkungan PBB telah mengidentifikasi spesies invasif secara umum sebagai ancaman terbesar kedua bagi keanekaragaman hayati global setelah hilangnya habitat dan ini kembali diulangi pada KTT Dunia tentang pembangunan berkelanjutan pada tahun 2002. Sebuah fitur penting dari dampak ekologi yang bio-invasi air yang merugikan adalah bahwa hampir selalu ireversibel dan umumnya meningkatkan tingkat

keparahan dari waktu ke waktu. Dalam hal ini patut membandingkan dampak bio-invasi air dengan bentuk yang lebih diketahui di kapal –sumber polusi ; tumpahan minyak besar. Dalam tumpahan minyak besar, dampak ekologi yang paling mungkin terjadi sangat cepat, menjadi bencana dan akut dan sangat terlihat [15].

### 2.5.2 Dampak Ekonomi

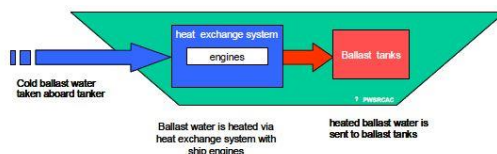
Banyak spesies air invasif dapat menimbulkan dampak ekonomi yang besar pada manusia. Kerugian ekonomi langsung kepada masyarakat dapat disebabkan oleh bio-invasi air pada sejumlah cara, termasuk :

- 1) Penurunan produksi perikanan (termasuk bangkrutnya sektor perikanan) karena persaingan, predasi dan / atau perpindahan dari spesies ikan oleh invasi spesies dan / atau melalui habitat / perubahan lingkungan yang disebabkan oleh invasi spesies.
- 2) Dampak terhadap budidaya (termasuk penutupan tambak ikan), terutama dari ganggang mekar berbahaya yang diperkenalkan
- 3) Dampak fisik pada infrastruktur pesisir, fasilitas dan industri, terutama oleh spesies yang mencemari
- 4) Pengurangan dalam perekonomian dan efisiensi pelayaran karena spesies yang mencemari
- 5) Dampak dan bahkan penutupan rekreasi dan pantai pariwisata dan pesisir lainnya karena spesies invasif (contoh : fisik pencemar di pantai dan bau tidak sedap dari mekar ganggang yang berbahaya)
- 6) Dampak ekonomi sekunder dari kesehatan manusia berdampak dari patogen dan spesies beracun yang dikenalkan, termasuk peningkatan pemantauan, pengujian, diagnostik dan biaya pengobatan dan hilangnya produktivitas sosial karena sakit dan bahkan kematian pada orang yang terkena dampak.
- 7) Dampak ekonomi sekunder dari dampak ekologi dan hilangnya keanekaragaman hayati.
- 8) Biaya dalam menanggapi masalah, termasuk penelitian dan pengembangan, pemantauan, pendidikan, komunikasi, regulasi, kepatuhan, manajemen, mitigasi dan pengendalian biaya [16].

### 2.6 Perlakuan Termal

Perlakuan termal air balas di atas kapal tanker saat ini sedang dieksplorasi sebagai pilihan yang layak untuk mengolah air balas selama kapal transit. Pilihan untuk memanaskan air balas di atas kapal yang meliputi : (1) penggunaan panas limbah yang dihasilkan oleh mesin kapal dan (2) penggunaan panas yang diciptakan oleh sistem boiler tambahan yang dipasang di atas kapal. Penelitian saat ini difokuskan pada menggunakan limbah panas yang dihasilkan oleh mesin kapal karena dapat memberikan solusi teknis yang paling hemat biaya.

Pada diagram di bawah menggambarkan bagaimana sebuah penukar panas dapat digunakan kapal untuk menangkap limbah panas mesin untuk memanaskan air balas laut untuk mencapai temperatur yang mampu membunuh NIS.



Gambar 2.6 Ilustrasi Pemanasan Air Balas dari Mesin Kapal

Sistem yang lebih mahal melibatkan instalasi boiler tambahan dan tangki bahan bakar khusus dirancang untuk memanaskan air balas. Di dalam kondisi ini, penambahan kapasitas pemanasan dipasang di atas kapal untuk memanaskan air balas untuk temperatur yang lebih tinggi daripada yang bisa dicapai oleh pengambilan panas dari mesin kapal menggunakan penukar panas sederhana. Penambahan kapasitas pemanasan mungkin diperlukan untuk secara efektif membunuh lebih luas NIS pada air balas. Pemasangan sistem boiler tambahan kapal tanker akan mencakup instalasi boiler dan sistem filtrasi pra pengolahan yang cocok, modifikasi pipa, pembangunan *shelter* dek untuk sistem *house* jika tidak ada lokasi bawah geladak yang tersedia, pipa untuk sistem pintas dalam hal kegagalan, *routing* saluran bahan bakar dan potensi pemasangan tangki bahan bakar tambahan dan *routing* dari gas buang boiler ke tumpukan utama atau sistem pembuangan lainnya.

Percobaan *on-board* telah menunjukkan bahwa limbah mesin sistem termal dapat meningkatkan temperatur air balas untuk  $37^{\circ}\text{--}38^{\circ}\text{C}$  ( $98\text{--}100^{\circ}\text{F}$ ) dan efektif dalam membunuh mayoritas NIS. Temperatur yang lebih tinggi diperlukan untuk secara efektif membunuh semua mikroorganisme termasuk kista. Lamanya waktu air balas dikenakan untuk menargetkan temperatur mempengaruhi kematian organisme. Paparan lebih lanjut menghasilkan tingkat membunuh yang lebih tinggi. Waktu paparan yang optimal tergantung pada spesies dan harus diteliti dan diuji untuk aplikasi spesifik.

Pengolahan dengan panas dapat menjadi tantangan untuk kapal dengan volume air balas yang besar karena waktu yang cukup adalah diperlukan untuk mengolah semua air. Durasi perjalanan kapal tanker minyak biasanya cukup lama untuk membuat perlakuan termal. Jumlah limbah panas yang tersedia dari mesin kapal yang ada dapat menentukan apakah teknologi ini ekonomis, seperti pemasangan boiler tambahan untuk melengkapi persyaratan panas yang mungkin memakan biaya terlalu tinggi. Sementara temperatur capaian menggunakan limbah panas dari mesin kapal yang cukup untuk membunuh banyak NIS, Temperatur tidak cukup untuk membunuh sebagian besar patogen manusia, virus, atau kista. Jika patogen manusia, virus, atau kista adalah perhatian NIS air balas, instalasi boiler tambahan untuk melengkapi persyaratan panas akan diperlukan [5].

## 2.7 Economizer

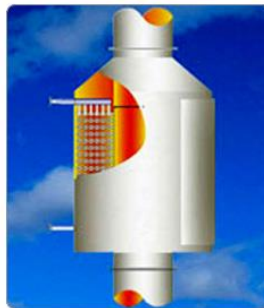
*Economizer* adalah alat pemindah panas berbentuk *tubular*. Istilah *economizer* diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economize*) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (*recovery*) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer.

Kinerja *economizer* ditentukan oleh fluida yang mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah yaitu gas. Kecepatan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan panas total dengan cara mengatur susunan

*tubing* / properti *fin* dan meningkatkan luas kontak perpindahan panas. Respon yang dihasilkan oleh *economizer* adalah efektifitas perpindahan panas dan biaya operasi. Efektifitas perpindahan panas adalah besarnya energi yang dapat terambil dari total jumlah energi yang dapat diserap. Semakin besar efisiensi perpindahan panas pada *economizer*, maka panas gas sisa yang terambil akan semakin banyak. Semakin besar efektifitas perpindahan panas yang terjadi, maka alat tersebut semakin efisien.

Respon yang optimum diperoleh menggunakan perancangan faktor yang mempengaruhi kinerja *economizer* sebagai berikut :

- 1) Diameter luar *tubing*, yaitu besarnya diameter *tube* yang digunakan dalam menyusun *economizer*. Semakin besar diameter *tube* akan mengakibatkan efektifitas perpindahan panas semakin berkurang.
- 2) *Transversal spacing*, yaitu menyatakan jarak antar *tube* sejajar ke arah lebar *economizer*. Semakin lebar jarak antar *tube* mengakibatkan proses induksi panas dalam *economizer* semakin berkurang, sehingga efektifitas perpindahan panas menurun.
- 3) Kerapatan *fin*, yaitu banyaknya *fin* tiap inci yang dapat disusun untuk menggabungkan beberapa *tube* dalam *economizer*. Semakin banyak *fin* yang tersusun akan mengakibatkan perpindahan panas tidak efektif karena jarak antar *tube* yang semakin jauh [17].



Gambar 2.7 Exhaust Gas Economizer

(<http://www.metalindoengineering.com/images/img-boiler-economizer.jpg>)

## 2.8 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja.

Perpindahan panas pada alat penukar kalor biasanya melibatkan konveksi masing masing fluida dan konduksi sepanjang dinding yang memisahkan kedua fluida. Laju perpindahan panas antara kedua fluida pada alat penukar kalor bergantung pada besarnya perbedaan temperatur pada lokasi tersebut, dimana bervariasi sepanjang alat penukar kalor.

Berdasarkan kontak dengan fluida, alat penukar kalor tersebut dapat dibedakan menjadi dua macam, antara lain :

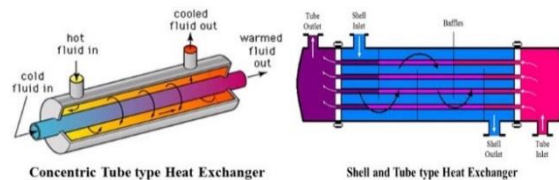
- 1) Alat penukar kalor kontak langsung Pada alat ini fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan. Salah satu contohnya adalah deaerator.
- 2) Alat penukar kalor kontak tak langsung Pada alat ini fluida panas tidak berhubungan langsung (indirect contact) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, plat, atau peralatan jenis lainnya. Salah satu contohnya adalah kondensor.

Berdasarkan tipe aliran di dalam alat penukar panas ini, ada 4 macam aliran yaitu :

- 1) *Counter current flow* (aliran berlawanan arah)
- 2) *Parallel flow/co current flow* (aliran searah)
- 3) *Cross flow* (aliran silang)
- 4) *Cross counter flow* (aliran silang berlawanan)

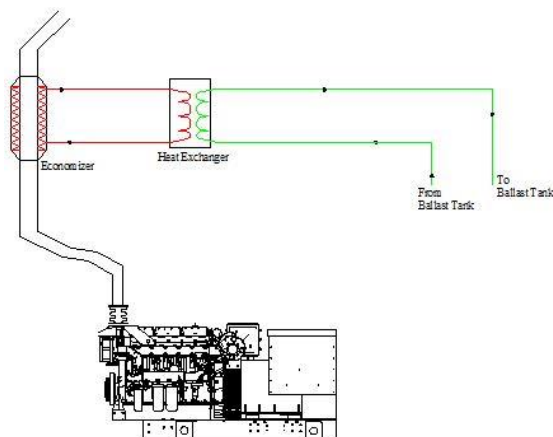
Selain itu, alat penukar kalor ini juga memiliki 4 jenis antara lain :

- 1) *Tubular Heat Exchanger*
- 2) *Plate Heat Exchanger*
- 3) *Shell and Tube Heat Exchanger*
- 4) *Jacketed Vessel* [18].



Gambar 2.8 *Heat Exchanger*

([http://ecoursesonline.iasri.res.in/pluginfile.php/129814/mod\\_page/content/3/13.2.3.3.2%20Tubular%20heat%20exchanger.jpg](http://ecoursesonline.iasri.res.in/pluginfile.php/129814/mod_page/content/3/13.2.3.3.2%20Tubular%20heat%20exchanger.jpg))



Gambar 2.9 Skema *Exhaust Gas, Economizer dan Heat Exchanger*

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Pada tahap ini akan dilakukan pengidentifikasian dan perumusan masalah yang ada. Pada tugas akhir ini, permasalahan yang diambil adalah metode pemanasan dari gas buang *auxiliary engine* untuk penanganan air balas kapal.

### **3.2 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan pengumpulan bahan referensi yang merupakan tahap pembelajaran mengenai teori – teori dasar dan teori – teori penunjang yang akan dibahas pada penulisan tugas akhir ini. Studi literatur berguna untuk mengumpulkan dan menambah informasi tentang tugas akhir yang akan dikerjakan. Sumber yang diambil pada tahap ini berasal dari tugas akhir, jurnal, artikel, *website*, dan lain – lain yang mendukung bahasan tugas akhir ini.

### **3.3 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data akan dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai data diantaranya informasi mengenai data utama kapal, spesifikasi *auxiliary engine*, data volume air balas kapal, data mengenai jenis – jenis mikroorganisme yang terkandung dalam air balas dan karakteristik air laut, *exhaust gas*, dan *thermal oil*.

### **3.4 Perhitungan dan Analisa Data**

Perhitungan dan Analisa data merupakan tahap dimana hasil data – data yang telah didapat, akan dianalisa secara ilmiah serta diketahui apakah pemanasan dari gas buang *auxiliary engine* cukup untuk membunuh mikroorganisme di dalam air balas serta akan dilakukan perhitungan kebutuhan energi panas dan waktu pemanasan.

### **3.5 Desain *Economizer* dan *Heat Exchanger***

Pada tahap ini akan dilakukan perencanaan desain *economizer* dan *heat exchanger* menggunakan *software* HTRI.

### **3.6 Desain Sistem *Ballast Water Treatment***

Pada tahap ini akan dilakukan sebuah perancangan sistem metode pemanasan dari gas buang *auxiliary engine* berdasarkan data yang telah dianalisa. Berdasarkan data yang ada, dapat digambarkan sebuah model perancangan konsep menggunakan *software AutoCad*.

### **3.7 *Practicability and Effectiveness***

Setelah perancangan sebuah sistem dibuat, akan dilakukan validasi berdasarkan *practicability and effectiveness* desain pemanasan dari gas buang *auxiliary engine* yang

dilakukan serta berdasarkan pada *rules*. Apabila sudah sesuai maka dapat dilanjutkan pada tahap penyusunan *material requirement plan* dan analisa ekonomi. Apabila masih terdapat ketidaksesuaian, maka kembali ke tahap perancangan sistem.

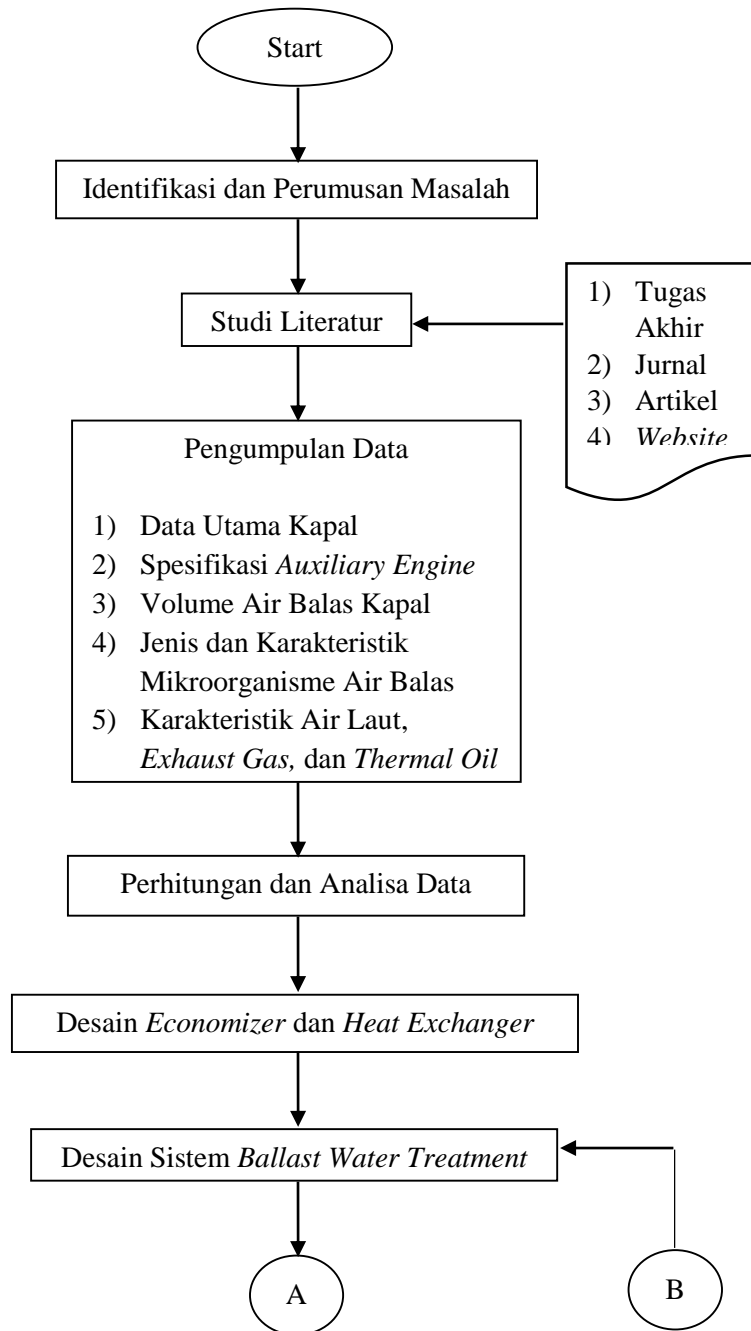
### **3.8 Penyusunan *Material Requirement Plan* dan Analisa Ekonomi**

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan kebutuhan bahan atau material untuk proses pembuatan sistem penanganan air balas di kapal dan menganalisa ekonomi dari sistem ini.

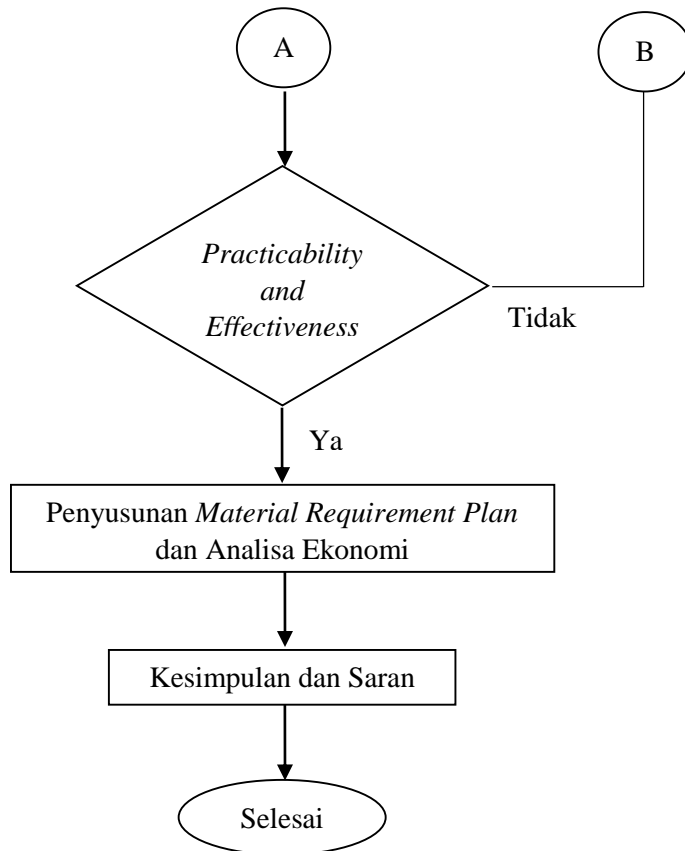
### **3.9 Kesimpulan dan Saran**

Langkah terakhir dalam penyusunan tugas akhir ini adalah akan dibuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Selanjutnya setelah membuat kesimpulan adalah memberikan saran berdasarkan hasil analisa untuk dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada tugas akhir ini maupun pada data – data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.





Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian (Bagian 1)



Gambar 3.2 Alur Metodologi Penelitian (Bagian 2)

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Utama Kapal

Tabel 4.1 Data utama kapal MT. RH Tanker

Nama Kapal	MT. RH Tanker
Tipe Kapal	<i>Tanker</i>
Jenis Muatan	<i>Crude Oil</i>
<i>Class Notation</i>	✠ A100 ①
<i>Classification Society</i>	BKI
<i>Flag State</i>	Indonesia
<i>Endurance</i> Pelayaran	3 (Tiga) hari
Vs	14,5 knots
Lpp	141 m
B	24,2 m
H	12,8 m
T	9,441 m
Cb	0,735

Pada tabel di atas, kapal memiliki skenario perjalanan dari *Senipah Oil Terminal*, Kalimantan Timur menuju *Port of Cebu*, Philippines. Skenario pemanasan air balas dilakukan selama kondisi *sailing*.

### 4.2 Data Performa *Auxiliary Engine*

Tabel 4.2 Spesifikasi *Auxiliary Engine* MT. RH Tanker (Bagian 1)

<i>Brand</i>	Perkins
<i>Diesel Generator Set</i>	
<i>Genset Model</i>	M-P500
<i>Rated Speed / frequency</i>	1500 rpm / 50 Hz
<i>Continous Output (KW/KVA)</i>	360 / 450
<i>Standby Output (KW/KVA)</i>	400 / 500
<i>Voltage, Phase and wire</i>	400V/230V, 3 Phase and 4 Wires
<i>Rated power factor</i>	0,8 ( <i>lagging</i> )
<i>Dimension</i>	3430 X 1167 X 1956
<i>Diesel Engine</i>	
<i>Diesel Engine Model</i>	2806C-E16TAG1 (UK Perkins)
<i>Gross engine power (prime/standby)</i>	401,6 kW / 444,6 kW
<i>Exhaust gas temperature (prime/standby)</i>	452,5°C / 456°C
<i>Exhaust gas flow (prime/standby)</i>	75 m <sup>3</sup> /min / 83,2 m <sup>3</sup> /min
<i>Exhaust back pressure</i>	6,8 kPa
<b>Prime rating</b> : Unlimited hours usage with an average load factor of 80% of the published prime rating over each 24 hour period. A 10% overload is available for 1 hour in 12. Generally as ISO 8528 Prime Power.	

Tabel 4.3 Spesifikasi *Auxiliary Engine* MT. RH Tanker (Bagian 2)

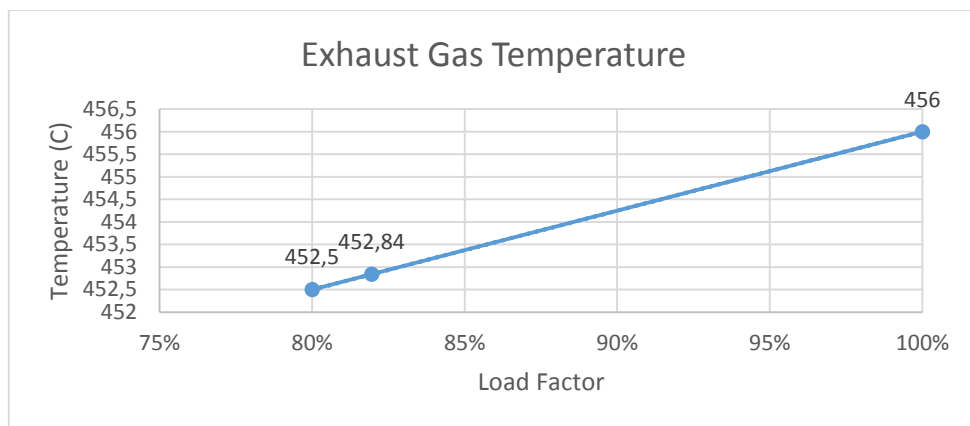
**Standby rating:** Limited to 500 hours annual usage with an average load factor of 100% of the published standby rating. Up to 300 hours of the annual usage may be run continuously. No overload is permitted. Generally as ISO 8528 Limited Time Running Power

Pada tabel di atas, kapal memiliki jumlah generator sebanyak 3 dan *load factor* generator sebesar 81,95% pada kondisi *sailing*. *Project guide* dari spesifikasi *auxiliary engine* dilampirkan pada bagian lampiran 1 dan 2.

*Exhaust Gas Temperature* :

452,5°C (*Prime Power*) (80% *load factor*)

456°C (*Standby Max*) (100% *load factor*)

Gambar 4.1 *Exhaust Gas Temperature at 81,95% Load Factor*

Pada gambar di atas temperatur *exhaust gas* pada *load factor* 81,95% adalah 452,84°C.

*Exhaust gas flow* :

1,25 m<sup>3</sup>/s (*Prime Power*) (80% *load factor*)

1,386 m<sup>3</sup>/s (*Standby Max*) (100% *load factor*)

*Mass Flow Rate (Prime Power)* (80% *load factor*)

$$m = \rho \times v$$

$$m = 0,770 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m = 0,962 \text{ kg/s}$$

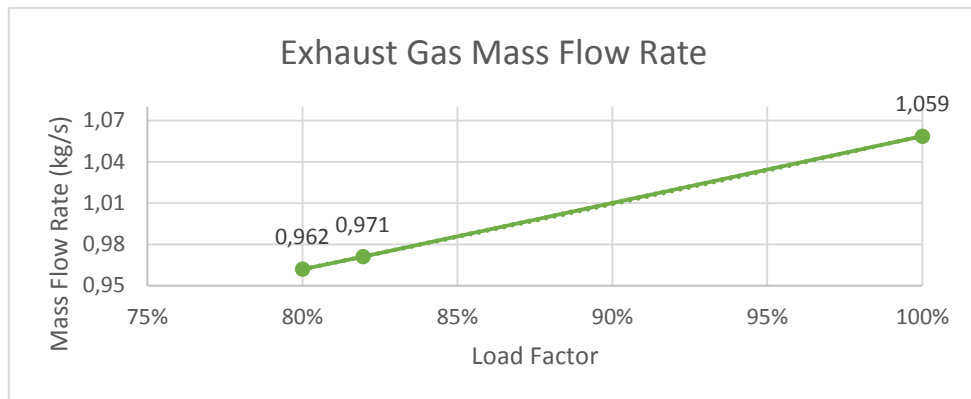
*Mass Flow Rate (Standby Max)* (100% *load factor*)

$$m = \rho \times v$$

$$m = 0,764 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,386 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m = 1,059 \text{ kg/s}$$

### Mass Flow Rate at Load Factor Generator (81,95%)



Gambar 4.2 Exhaust Gas Mass Flow Rate at 81,95% Load Factor

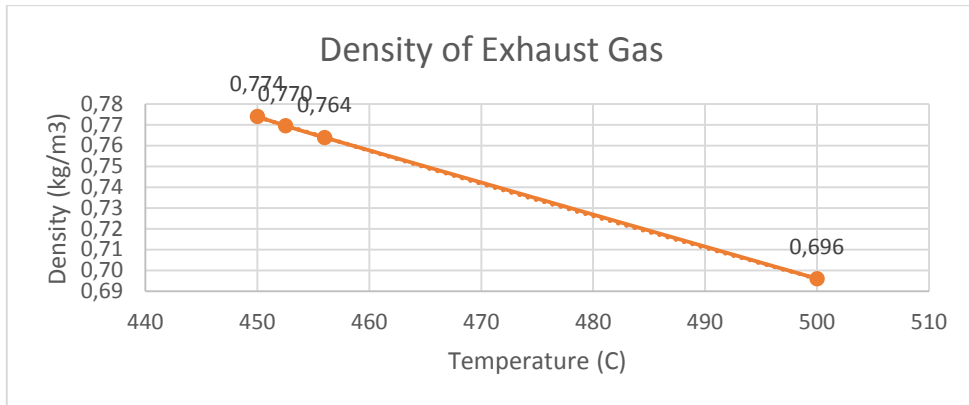
Pada gambar di atas *mass flow rate exhaust gas* pada *load factor* 81,95% adalah 0,971 kg/s.

### 4.3 Properti Exhaust Gas Engine

Tabel 4.4 Properti *exhaust gas*

T	$\rho$	h	s	$C_p$	$\mu$	k
260	1.340	260.0	6.727	1.006	0.165	0.0231
280	1.245	280.2	6.802	1.006	0.175	0.0247
300	1.161	300.3	6.871	1.007	0.185	0.0263
350	0.995	350.7	7.026	1.009	0.208	0.0301
400	0.871	401.2	7.161	1.014	0.230	0.0336
450	0.774	452.1	7.282	1.021	0.251	0.0371
500	0.696	503.4	7.389	1.030	0.270	0.0404
600	0.580	607.5	7.579	1.051	0.306	0.0466
800	0.435	822.5	7.888	1.099	0.370	0.0577
1000	0.348	1046.8	8.138	1.141	0.424	0.0681
1200	0.290	1278	8.349	1.175	0.473	0.0783
1400	0.249	1515	8.531	1.207	0.527	0.0927

Tabel properti *exhaust gas* di atas diambil dari literatur yang ada di internet karena tidak tersedia pada *auxiliary engine project guide*. Properti *exhaust gas* ini dibutuhkan untuk menghitung *mass flow rate* pada *exhaust gas* dan *input data* pada *software* HTRI.



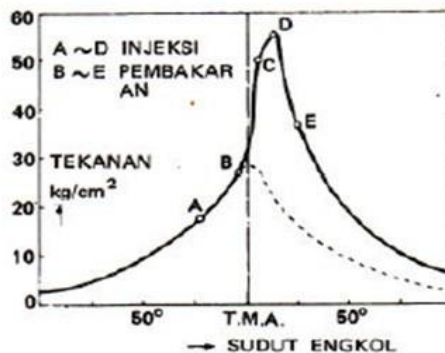
Gambar 4.3 Density Exhaust Gas at 80% and 100% Load Factor

Pada gambar di atas *density exhaust gas* pada *load factor* 80% dan 100% adalah  $0,770 \text{ kg/m}^3$  dan  $0,764 \text{ kg/m}^3$ .

#### Density Exhaust Gas ( $\rho$ )

$0,770 \text{ kg/m}^3$  (Prime Power) (80% load factor)

$0,764 \text{ kg/m}^3$  (Standby Max) (100% load factor)



Gambar 4.4 Grafik proses pembakaran mesin

Gambar grafik proses pembakaran mesin di atas diambil dari literatur yang ada di internet karena tidak tersedia pada *auxiliary engine project guide*. Dari grafik di atas, tekanan gas buang yaitu  $8,0047 \text{ kg/cm}^2$  atau  $785 \text{ kPa}$ .

## 4.4 Volume Tangki Ballast

Tabel 4.5 Data volume tangki *ballast* MT. RH Tanker (Bagian 1)

Volume Tangki <i>Ballast</i> I Portside	30,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> I Starboard	30,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> II Portside	121 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> II Starboard	121 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> III Portside	198,5 m <sup>3</sup>

Tabel 4.6 Data volume tangki *ballast* MT. RH Tanker (Bagian 2)

Volume Tangki <i>Ballast</i> III <i>Starboard</i>	198,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> IV <i>Portside</i>	222,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> IV <i>Starboard</i>	222,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> V <i>Portside</i>	231,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> V <i>Starboard</i>	231,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> VI <i>Portside</i>	218,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> VI <i>Starboard</i>	218,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> VII <i>Portside</i>	151,5 m <sup>3</sup>
Volume Tangki <i>Ballast</i> VII <i>Starboard</i>	151,5 m <sup>3</sup>
<b>Total Volume Tangki <i>Ballast</i></b>	<b>2348 m<sup>3</sup></b>

Data volume tangki balas digunakan untuk melakukan skenario waktu pemanasan air balas selama *sailing* dan juga untuk menentukan skenario debit pompa *ballast water treatment*, *thermal oil* dan *seawater mass flow rate* pada *software* HTRI.

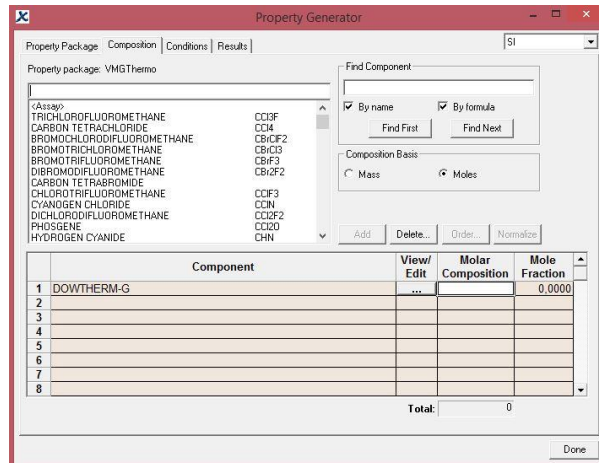
#### 4.5 Properti *Thermal Oil*

*Thermal oil* digunakan sebagai *medium heat transfer* dari gas buang *auxiliary engine* menuju air balas. *Thermal oil* disirkulasikan ke *economizer* dengan *thermal oil circulating pump* untuk mengambil panas dari gas buang *auxiliary engine* dan mensirkulasikannya ke *heat exchanger* untuk diambil panasnya oleh air balas.

Tabel 4.7 Spesifikasi *thermal oil*

<i>Brand</i>	Dowtherm
<i>Type</i>	G Fluid
<i>Crystal Point</i>	<i>Below</i> 4°C
<i>Atmospheric Reflux Boiling Point</i>	289°C
<i>Flash Point</i>	137°C
<i>Autoignition Temperature</i>	432°C

Pada tabel di atas, skripsi ini menggunakan *thermal oil* Dowtherm G Fluid dan juga untuk input data pada *software* HTRI. *Project guide thermal oil* dilampirkan pada bagian lampiran 3.



Gambar 4.5 Input data thermal oil pada software HTRI

Pada gambar di atas, merupakan hasil *capture* dari *property generator* pada *software* HTRI untuk memilih tipe *thermal oil*.

Physical Property Worksheet																
Physical Properties   Compositions																
Heat values entered as: Specific enthalpy																
Pressure		456.715 MPa		Vapor Properties						Liquid Properties						
Temperature (C)	Enthalpy (kJ/kg)	Weight Fraction Vapor	Density (kg/m3)	Viscosity (mPa.s)	Conductivity (W/m.C)	Heat Capacity (kJ/kg.C)	Enthalpy (kJ/kg)	Density (kg/m3)	Viscosity (mPa.s)	Conductivity (W/m.C)	Heat Capacity (kJ/kg.C)	Enthalpy (kJ/kg)	Surface Tension (mN/m)	Critical Pressure (atm)	Critical Temperature (C)	Lat. Heat (kJ/kg)
Required:	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No
1	59.53	-32.221	0	0				1965.86	7.15	0.1745	1.5307		29.1362	2768	547.99	
2	118.7	-41.706	0	0				993.538	4.0774	0.1036	1.6201		27.1305	2756	547.99	
3	143.1	-3.9906	0	0				986.080	2.5520	0.1041	1.7190		25.2507	2750	547.99	
4	168.36	29.2268	0	0				986.456	1.7110	0.1030	1.7902		23.4970	2750	547.99	
5	188.63	60.4452	0	0				952.592	1.2173	0.1030	1.8602		21.8240	2750	547.99	
6	210.98	127.156	0	0				936.449	0.9915	0.1031	1.9307		20.2432	2750	547.99	
7	238.72	183.871	0	0				921.963	0.8313	0.1043	2.0021		19.1781	2750	547.99	
8	266.74	230.268	0	0				905.147	0.6444	0.1031	2.0573		17.3022	2750	547.99	
9	275.14	243.302	0	0				891.983	0.4465	0.1051	2.1091		15.8262	2750	547.99	
10	285	254.917	0	0				876.160	0.3022	0.1096	2.1998		14.8171	2750	547.99	
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
456.715 MPa / Set 2 / Set 3 / Set 4 / Set 5 / Set 6 / Set 7 / Set 8 / Set 9 / Set 10 / Set 11 / Set 12 /																

Gambar 4.6 Properti Dowtherm G pada software HTRI

Sebagai tambahan, pada *software* HTRI juga telah tersedia properti *thermal oil* yang dipilih seperti pada gambar di atas.

## 4.6 Perhitungan Data

### 4.6.1 Perhitungan Kebutuhan Panas

Panas yang dibutuhkan

1. Kalor Sensibel
2. *Heat Loss*

Kalor Sensibel

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$



$Q$  = Kalor (J)

$m$  = Massa (Kg)

$C_p$  = Panas Spesifik (J/Kg K)  
= 4011 J/Kg K

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;

$\Delta T = 71 - 29$

= 42  $^{\circ}\text{C}$

Kebutuhan kalor sensibel setiap tangki ballast :

Tabel 4.8 Kalor sensibel setiap tangki balas

B.T No.	Volume (m <sup>3</sup> )	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (kg)	Q (Joule)	$\dot{Q}$ (Watt)
I	61	1021,35	62302,05	1,05E+10	43513,79
II	242	1021,35	247165,49	4,16E+10	172628,49
III	397	1021,35	405473,97	6,83E+10	283196,33
IV	445	1021,35	454498,53	7,66E+10	317436,69
V	463	1021,35	472882,74	7,97E+10	330276,83
VI	437	1021,35	446327,77	7,52E+10	311729,97
VII	303	1021,35	309467,54	5,21E+10	216142,29

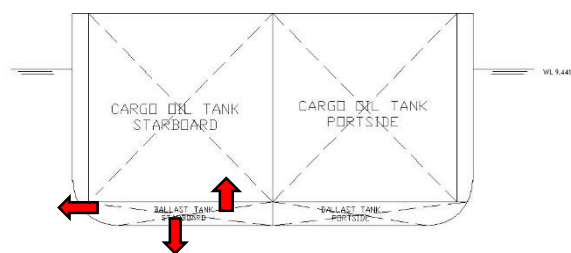
Total kebutuhan kalor sensibel = 403991764,62 kJ

Skenario waktu pemanasan adalah 67 jam, sehingga daya yang dibutuhkan yaitu

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\dot{Q} = 1674,92 \text{ kW}$$

*Heat Loss*



Gambar 4.7 Skema heat loss pada tangki balas

Panas yang hilang terhadap :

1. Dinding samping tangki balas kapal
2. *Bottom* tangki balas kapal
3. *Tank top* tangki balas kapal

Contoh Perhitungan Heat Loss pada tangki balas I

$$q = UA \Delta T_{\text{overall}}$$

$$U = \frac{1}{1/h_1 + \Delta x/k + 1/h_2}$$

Q = Panas yang hilang (Watt)  
 U = Koefisien perpindahan panas (W/m<sup>2</sup> C)  
 A = Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)  
 $\Delta t$  = Perbedaan temperatur (42 C)  
 k = *Thermal conductivity* (W/m C)  
 h = Koefisien perpindahan panas (W/m<sup>2</sup> C)  
 $\Delta x$  = Tebal bahan (m)

Pada dinding samping kapal

$$q = U \times A \times \Delta T$$

$$q = 16,07 \times 18 \times 42$$

$$q_1 = 12147,89 \text{ Watt}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{16,15} + \frac{0,012}{43} + \frac{1}{27584,6}}$$

$$U_1 = 16,07 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Pada *bottom* kapal

$$q = U \times A \times \Delta T$$

$$q = 19,81 \times 9,4 \times 42$$

$$q_2 = 7821,13 \text{ Watt}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{19,95} + \frac{0,014}{43} + \frac{1}{27584,6}}$$

$$U_2 = 19,81 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Pada *tank top* kapal

$$q = U \times A \times \Delta T$$

$$q = 7,46 \times 56,6 \times 42$$

$$q_3 = 17739,8 \text{ Watt}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{15,71} + \frac{0,012}{43} + \frac{1}{14,27}}$$

$$U3 = 7,462 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

$$q_{total} = q1 + q2 + q3$$

$$q_{total} = 12147,89 + 7821,13 + 17739,80$$

$$q_{total} = 37708,83 \text{ Watt}$$

$$q_{total} = 37,71 \text{ kW}$$

➤ *Heat Loss* dari Dinding Samping Kapal

Panas yang hilang dari air balas ke dinding pelat lambung

Rayleigh Number (Ra)

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = 20315497 \times 2,60$$

$$Ra = 52732601,04$$

Grashof Number (Gr)

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}$$

$$Gr_x = \frac{9,81(0,00309)(71 - 29)1,44^3}{0,000433^2}$$

$$Gr = 20315497$$

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

β = Koefisien ekspansi volumetrik (1/Tf) (0,00309)

Tf = Temperatur film (323 K)

T<sub>ω</sub> = Temperatur muatan (71 C)

T<sub>∞</sub> = Temperatur dinding (29 C)

x = Tinggi dinding (1,44 m)

ν = Viskositas kinematik (0,000433 m<sup>2</sup>/s)

Temperatur *Film* (Tf)

$$T_f = \frac{(T_\omega + T_\infty)}{2}$$

$$T_f = \frac{(71 + 29)}{2}$$

$$Tf = 50 \text{ C}$$

$$Tf = 323 \text{ K}$$

Prandl Number (Pr)

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho c_p} = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$\text{Pr} = \frac{3965,4 \times 0,00043399}{0,663}$$

$$\text{Pr} = 2,60$$

$k$  = Thermal Conductivity (0,663 W/m C)

$C_p$  = Panas spesifik (3965,4 J/Kg C)

$\mu$  = Viskositas Dinamik (0,00043399 kg/m s)

Nusselt Number (Nu)

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 \times 52732601,04^{1/4}}{[1 + (0.492/2,60)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$Nu = 35,0779$$

Sehingga,

$$Nu = \frac{h_1 X}{k}$$

$$h_1 = \frac{Nu k}{X}$$

$$h_1 = \frac{35,0779 \times 0,663}{1,44}$$

$$h_1 = 16,1504 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Panas yang hilang pada dinding pelat lambung

$\Delta x/k$

$$\Delta x/k = 0,012/43$$

$$\Delta x_1/k = 0,00028$$

$\Delta x$  = Tebal pelat (0,012 m)

$k$  = Thermal Conductivity (43 W/m C)

Panas yang hilang dari dinding pelat lambung ke air laut

Reynold Number (Re)

$$\text{Re}_x = \frac{u_\infty x}{\nu}$$

$$\text{Re}_x = \frac{7,453 \times 12,5}{0,0008674}$$

$$Re = 107404,31$$

$$U_{\infty} = \text{Kecepatan aliran bebas (7,453 m}^2/\text{s)}$$

$$x = \text{Panjang pelat (12,5 m)}$$

$$\nu = \text{Viskositas kinematik (0,0008674 m}^2/\text{s)}$$

Prandl Number (Pr)

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho c_p} = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{4011 \times 0,00088591}{0,61218}$$

$$Pr = 5,804$$

$$k = \text{Thermal Conductivity (0,61218 W/m C)}$$

$$c_p = \text{Panas spesifik (4011 J/Kg C)}$$

$$\mu = \text{Viskositas Dinamik (0,00088591 kg/m s)}$$

Stanton Number (St)

$$St_x Pr^{2/3} = 0,0296 Re_x^{-0,2}$$

$$St = \frac{0,0296 \times 107404,31^{-0,2}}{5,804^{2/3}}$$

$$St = 0,0009034$$

Sehingga,

$$St = \frac{h}{\rho c_p u}$$

$$h = 0,0009034 \times 1021,345 \times 4011 \times 7,453$$

$$h_2 = 27584,6 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

➤ *Heat Loss dari Bottom Kapal*

Panas yang hilang dari air balas ke pelat *bottom*

Rayleigh Number (Ra)

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = 1932481,9 \times 2,60$$

$$Ra = 5016111$$

Grashof Number (Gr)

$$Gr_x = \frac{g \beta (T_w - T_{\infty}) x^3}{\nu^2}$$

$$Gr_x = \frac{9,81(0,00309)(71 - 29)0,65734^3}{0,000433^2}$$

$$Gr = 1932481,9$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi (9,81 m/s}^2\text{)}$$

$$\beta = \text{Koefisien ekspansi volumetrik (1/Tf) (0,00309)}$$

$$T_f = \text{Temperatur film (323 K)}$$

$$T_\omega = \text{Temperatur muatan (71 C)}$$

$$T_\infty = \text{Temperatur dinding (29 C)}$$

$$x = \text{Luas dasar / Keliling Tangki (0,65734 m)} \\ = 9,4 \text{ m}^2/14,3 \text{ m}$$

$$\nu = \text{Viskositas kinematik (0,000433 m}^2\text{/s)}$$

Temperatur *Film* (Tf)

$$T_f = \frac{(T_\omega + T_\infty)}{2}$$

$$T_f = \frac{(71 + 29)}{2}$$

$$T_f = 50 \text{ C}$$

$$T_f = 323 \text{ K}$$

Prandl *Number* (Pr)

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho c_p} = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{3965,4 \times 0,000433989}{0,663}$$

$$Pr = 2,60$$

$$k = \text{Thermal Conductivity (0,663 W/m C)}$$

$$c_p = \text{Panas spesifik (3965,4 J/Kg C)}$$

$$\mu = \text{Viskositas Dinamik (0,000433989 kg/m s)}$$

Nusselt *Number* (Nu)

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 \times 5016111^{1/4}}{[1 + (0.492/2,60)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$Nu = 19,7831$$

Sehingga,

$$Nu = \frac{h_1 X}{k}$$

$$h_1 = \frac{Nu k}{X}$$

$$h_1 = \frac{19,7831 \times 0,663}{0,65734}$$

$$h_1 = 19,9534 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Panas yang hilang pada pelat *bottom*

$$\Delta x/k$$

$$\Delta x/k = 0,014/43$$

$$\Delta x/k = 0,00033$$

$$\Delta x = \text{Tebal pelat (0,014 m)}$$

$$k = \text{Thermal Conductivity (43 W/m C)}$$

Panas yang hilang dari *bottom* kapal ke ke air laut

Reynold Number (Re)

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{\nu}$$

$$Re_x = \frac{7,453 \times 12,5}{0,0008674}$$

$$Re = 107404,31$$

$$U_\infty = \text{Kecepatan aliran bebas (7,453 m/s)}$$

$$x = \text{Panjang pelat (12,5 m)}$$

$$\nu = \text{Viskositas kinematik (0,0008674 m}^2/\text{s)}$$

Prandl Number (Pr)

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho c_p} = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{4011 \times 0,00088591}{0,61218}$$

$$Pr = 5,804$$

$$k = \text{Thermal Conductivity (0,61218 W/m C)}$$

$$C_p = \text{Panas spesifik (4011 J/Kg C)}$$

$$\mu = \text{Viskositas Dinamik (0,00088591 kg/m s)}$$

Stanton Number (St)

$$St_x Pr^{2/3} = 0,0296 Re_x^{-0,2}$$

$$St = \frac{0,0296 \times 107404,31^{-0,2}}{5,804^{2/3}}$$

$$St = 0,0009035$$

Sehingga,

$$St = \frac{h}{\rho c_p u}$$

$$h = 0,0009034 \times 1021,345 \times 4011 \times 7,453$$

$$h_2 = 27584,6 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

➤ *Heat Loss* dari *Tank Top* Kapal

Panas yang hilang dari air balas ke pelat *tank top*

Rayleigh Number (Ra)

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = 27808623,37 \times 2,60$$

$$Ra = 72182384,51$$

Grashof Number (Gr)

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}$$

$$Gr_x = \frac{9,81(0,00309)(71 - 29)1,5988^3}{0,000433^2}$$

$$Gr = 27808623,37$$

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$\beta$  = Koefisien ekspansi volumetrik ( $1/T_f$ ) ( $0,00309$ )

$T_f$  = Temperatur film ( $323 \text{ K}$ )

$T_w$  = Temperatur muatan ( $71 \text{ C}$ )

$T_\infty$  = Temperatur dinding ( $29 \text{ C}$ )

$x$  = Luas dasar / Keliling Tangki ( $1,5988 \text{ m}$ )  
 $= 56,6 \text{ m}^2 / 35,4 \text{ m}$

$\nu$  = Viskositas kinematik ( $0,000433 \text{ m}^2/\text{s}$ )

Temperatur *Film* ( $T_f$ )

$$T_f = \frac{(T_w + T_\infty)}{2}$$

$$T_f = \frac{(71 + 29)}{2}$$

$$T_f = 50 \text{ C}$$

$$T_f = 323 \text{ K}$$

Prandl Number (Pr)

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho c_p} = \frac{c_p \mu}{k}$$



$$Pr = \frac{3965,4 \times 0,000433989}{0,663}$$

$$Pr = 2,60$$

$k$  = Thermal Conductivity (0,663 W/m C)

$C_p$  = Panas spesifik (3965,4 J/Kg C)

$\mu$  = Viskositas Dinamik (0,000433989 kg/m s)

Nusselt Number (Nu)

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670 \times 72182384,51^{1/4}}{[1 + (0.492/2,60)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$Nu = 37,8866$$

Sehingga,

$$Nu = \frac{h_1 X}{k}$$

$$h_1 = \frac{Nu k}{X}$$

$$h_1 = \frac{37,8866 \times 0,663}{1,59887}$$

$$h_1 = 15,7103 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Panas yang hilang pada pelat *tank top*

$$\Delta x/k$$

$$\Delta x/k = 0,012/43$$

$$\Delta x_1/k = 0,00028$$

$\Delta x$  = Tebal pelat (0,012 m)

$k$  = Thermal Conductivity (43 W/m C)

Panas yang hilang dari pelat *tank top* ke udara

Reynold Number (Re)

$$Re_x = \frac{u_{\infty} x}{\nu}$$

$$Re_x = \frac{7,453 \times 12,5}{0,000016184}$$

$$Re = 5756456,99$$

$U_{\infty}$  = Kecepatan aliran bebas (7,453 m/s)

$x$  = Panjang pelat (12,5 m)

$\nu$  = Viskositas kinematik (0,000016184 m<sup>2</sup>/s)

Prandtl Number (Pr)

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho c_p} = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{1007,16 \times 0,0000186698}{0,0263512}$$

$$Pr = 0,71357$$

$k$  = Thermal Conductivity (0,0263512 W/m C)

$c_p$  = Panas spesifik (1007,16 J/Kg C)

$\mu$  = Viskositas Dinamik (0,0000186698 kg/m s)

Stanton Number (St)

$$St_x Pr^{2/3} = 0.0296 Re_x^{-0.2}$$

$$St = \frac{0,0296 \times 5756456,99^{-0,2}}{0,71357^{2/3}}$$

$$St = 0,00165$$

Sehingga,

$$St = \frac{h}{\rho c_p u}$$

$$h = 0,00165 \times 1007,16 \times 1,1536 \times 7,453$$

$$h_2 = 14,2709 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Tabel perhitungan detail *heat loss* untuk setiap tangki balas dilampirkan pada lampiran 4 – lampiran 9.

Total *heat loss* pada tiap – tiap tangki balas :

Tabel 4.9 Heat Loss setiap tangki balas

Hasil perhitungan	Ballast Tank						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Dinding samping	12,15	14,98	14,49	14,20	14,98	14,29	13,03
Bottom kapal	7,82	53,84	103,50	123,23	127,50	120,34	78,44
Tank top	17,74	49,48	68,55	82,18	85,77	80,84	58,52
<b>Total (kW)</b>	37,71	118,29	186,54	219,61	228,24	215,47	149,99

$$\text{Total Heat Loss} = 1155,85 \text{ kW}$$

Total Kebutuhan Kalor = Kalor Sensibel + *Heat Loss*

Tabel 4.10 Total kebutuhan kalor setiap tangki balas

BWT No.	$\dot{Q}$ Sensibel (kW)	$\dot{Q}$ Heat Loss (kW)	Total (kW)
I	43,51	37,71	81,22
II	172,63	118,29	290,92
III	283,20	186,54	469,74
IV	317,44	219,61	537,04
V	330,28	228,24	558,52
VI	311,73	215,47	527,20
VII	216,14	149,99	366,13

Total Kebutuhan Kalor = 2830,77 kW

#### 4.6.2 Mass Flow Rate Air Laut

*Mass flow rate* air laut :

$$\begin{aligned}\dot{m} &= Q \times \rho / 3600 \\ &= 35 \times 1021,35 / 3600 \\ &= 9,93 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

$\dot{m}$  = *Mass flow rate* air laut (kg/s)

Q = Debit pompa (m<sup>3</sup>/jam)

P = *Density* air laut (kg/m<sup>3</sup>)

Q didapatkan dari spesifikasi pompa *treatment* air balas. Nilai *mass flow rate* ini merupakan *mass flow rate* yang diskenariokan dari Q pompa untuk memanaskan air balas pada kondisi *sailing* yaitu selama 67 jam dan di *input* kan pada *software* HTRI.

$$\begin{aligned}Q &= V/t \\ &= 2348 \text{ m}^3 / 67 \text{ jam} \\ &= 35,04 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Tabel 4.11 Spesifikasi *pompa ballast water treatment*

<b>Brand</b>	Sili Pump
<b>Type</b>	<i>Centrifugal</i>
<b>Capacity</b>	35 m <sup>3</sup> /h

Pada tabel di atas, spesifikasi pompa *ballast water treatment* belum dijelaskan secara spesifik karena masih terbatas pada spesifikasi *capacity* pompa. Perhitungan detail akan dilampirkan pada sub bab perhitungan *head loss* pompa *ballast water treatment*.

#### 4.6.3 Mass Flow Rate Thermal Oil

*Mass flow rate of thermal oil :*

$$\begin{aligned}\dot{m} &= Q \times \rho / 3600 \\ &= 30 \times 1031,68 / 3600 \\ &= 8,59 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

$\dot{m}$  = *Mass flow rate thermal oil* (kg/s)

$Q$  = Debit pompa (m<sup>3</sup>/jam)

$P$  = *Density thermal oil* (kg/m<sup>3</sup>)

$Q$  didapatkan dari spesifikasi pompa *thermal oil*. Nilai *mass flow rate* ini merupakan *mass flow rate* optimum yang diskenariokan dan di *input* kan pada *software* HTRI.

Tabel 4.12 Spesifikasi pompa *thermal oil*

<b><i>Brand</i></b>	Sili Pump
<b><i>Type</i></b>	<i>Centrifugal</i>
<b><i>Capacity</i></b>	30 m <sup>3</sup> /h

Pada tabel di atas, spesifikasi pompa *thermal oil* belum dijelaskan secara spesifik karena masih terbatas pada spesifikasi *capacity* pompa. Perhitungan detail akan dilampirkan pada sub bab perhitungan *head loss* pompa *thermal oil*.

#### 4.7 Analisa Penggunaan Software HTRI

Dari *running software* HTRI untuk *Economizer I*, *Economizer II*, dan *Heat Exchanger* dapat diketahui hasil yang dianalisa yaitu *over design*, *pressure drop*, *duty* dan *temperature* akhir.

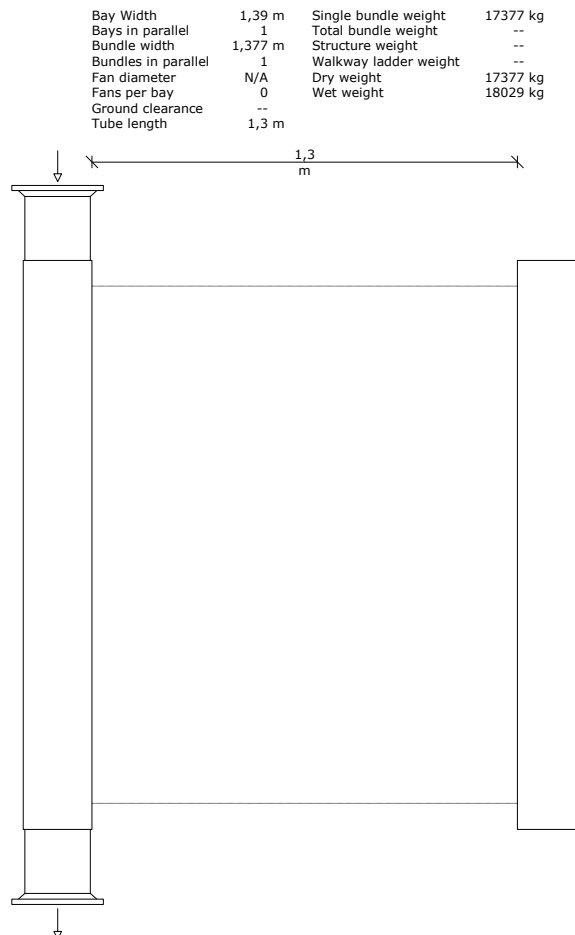
Tabel 4.13 Hasil *running software* HTRI untuk *Output Summary economizer I*

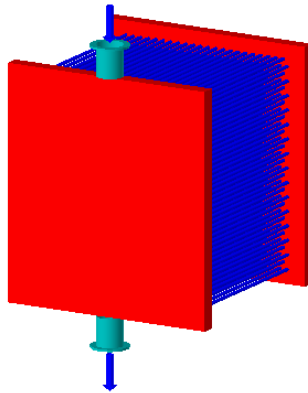
<div>HTRI</div>		<div>Output Summary</div>		Page 1	
		Released to the following HTRI Member Company:			
		ITS			
		Rizky Pradiya Ardian			
Xace E Ver. 6.00 20/06/2017 3:22 SN: Vals100+				SI Units	
Rating-Horizontal economizer countercurrent to crossflow					
See Data Check Messages Report for Warning Messages.					
See Runtime Message Report for Warning Messages.					
Process Conditions		Outside		Tubeside	
Fluid name		Exhaust Gas		Thermal Oil	
Fluid condition		Sens. Gas		Sens. Liquid	
Total flow rate (kg/s)		0,971		8,590	
Weight fraction vapor, In/Out		1,000		0,000	
Temperature, In/Out (Deg C)		452,84		40,00	
Skin temperature, Min/Max (Deg C)		40,54		40,53	
Pressure, Inlet/Outlet (kPa)		785,011		500,007	
Pressure drop, Total/Allow (kPa)		5,812e-3		11,563	
Midpoint velocity (m/s)		0,10		0,46	
- In/Out (m/s)				0,11	
Heat transfer safety factor (--)		1		1	
Fouling (m2-K/W)		0,001760		0,000176	
Exchanger Performance					
Outside film coef (W/m2-K)		18,35		Actual U (W/m2-K) 3,862	
Tubeside film coef (W/m2-K)		131,91		Required U (W/m2-K) 3,838	
Clean coef (W/m2-K)		3,959		Area (m2) 1321,30	
Hot regime		Sens. Gas		Overdesign (%) 0,62	
Cold regime		Sens. Liquid		Tube Geometry	
EMTD (Deg C)		66,6		Tube type High-finned	
Duty (MegaWatts)		0,338		Tube OD (mm) 25,400	
Unit Geometry				Tube ID (mm) 22,910	
Bays in parallel per unit		1		Length (m) 1,300	
Bundles parallel per bay		1		Area ratio(out/in) (--) 26,1168	
Extended area (m2)		1321,30		Layout Staggered	
Bare area (m2)		56,091		Trans pitch (mm) 60,500	
Bundle width (m)		1,377		Long pitch (mm) 52,393	
Nozzle		Inlet Outlet		Number of passes (--) 12	
Number (--)		1 1		Number of rows (--) 30	
Diameter (mm)		199,900 199,900		Tubecount (--) 660	
Velocity (m/s)		0,27 0,27		Tubecount Odd/Even (--) 22 / 22	
R-V-SQ (kg/m-s2)		72,61 73,53		Tube material Copper	
Pressure drop (kPa)		0,040 0,026		Fin Geometry	
Fan Geometry				Type Plain round	
No/bay (--)		0		Fins/length fin/meter 433,0	
Fan ring type				Fin root mm 25,400	
Diameter (m)		0,000		Height mm 15,875	
Ratio, Fan/bundle face area (--)				Base thickness mm 0,400	
Driver power (kW)		0,00		Over fin mm 57,150	
Tip clearance (mm)		0,000		Efficiency (%) 94,8	
Efficiency (%)		0		Area ratio (fin/bare) (--) 23,5565	
Airside Velocities		Actual Standard		Material Copper	
Face (m/s)		9,061e-2		Thermal Resistance; %	
Maximum (m/s)		0,23		Air 21,05	
Flow (100 m3/min)		0,097		Tube 76,46	
Velocity pressure (Pa)		0,00		Fouling 2,46	
Bundle pressure drop (Pa)		5,81		Metal 0,03	
Bundle flow fraction (--)		1,000		Bond 0,00	
Bundle 100,00		Airside Pressure Drop; %		Louvers 0,00	
Ground clearance 0,00		Fan guard 0,00		Hail screen 0,00	
Fan ring 0,00		Fan area blockage 0,00		Steam coil 0,00	

Tabel 4.14 Data utama hasil *running software* HTRI untuk *economizer* I

No.	Properti	Hasil	Nilai Maks.
1.	<i>Over Design</i>	0,62 (%)	10 (%)
2.	<i>Pressure drop exhaust gas</i>	0,005 (kPa)	6,8 (kPa)
3.	<i>Pressure drop thermal oil</i>	11,563 (kPa)	50 (kPa)
4.	<i>Duty</i>	0,338 (M.Watts)	
	Properti	Nilai Input	Nilai Output
1.	Temperatur <i>exhaust gas</i>	452,84 (°C)	40,94 (°C)
2.	Temperatur <i>thermal oil</i>	40 (°C)	68,23 (°C)

Dari hasil di atas, *economizer* I menghasilkan *duty* sebesar 338 kW. *Economizer* I sebagai *equipment* pemanasan tahap 1 yang kemudian dilanjutkan ke *economizer* II.

Gambar 4.8 Hasil *running software* HTRI untuk 2D Exchanger Drawing *Economizer* I



Gambar 4.9 Hasil *running software* HTRI untuk 3D *Exchanger Drawing Economizer I*

Tabel 4.15 Dimensi *Economizer I*

No.	Dimensi	Ukuran (m)
1	Panjang	1.377 m
2	Lebar	1.3 m
3	Tinggi	1.624 m

Tabel 4.16 Hasil *running software* HTRI untuk *Output Summary Economizer II*

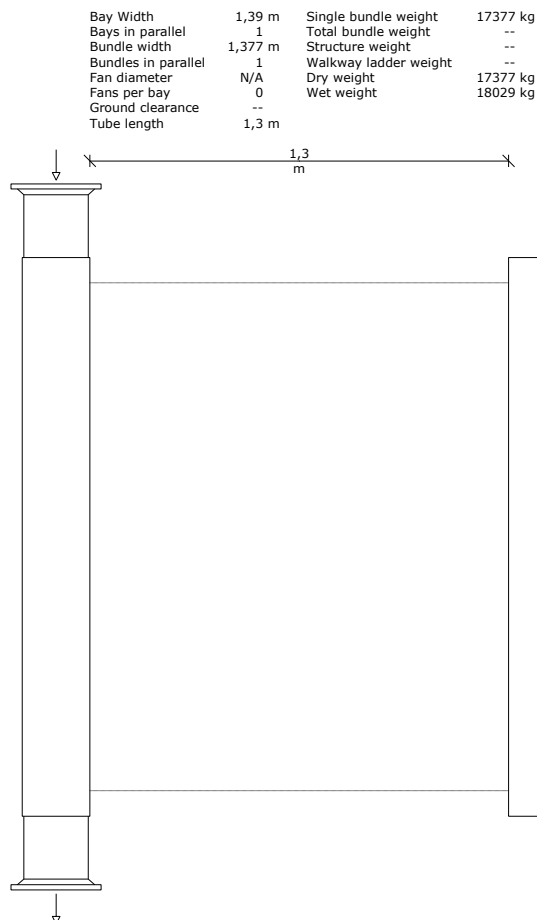
<div>HTRI</div>		<div>Output Summary</div>		Page 1	
		Released to the following HTRI Member Company:			
		ITS			
		Rizky Pradiya Ardian			
Xace E Ver. 6.00 20/06/2017 3:29 SN: Vals100+				SI Units	
Rating-Horizontal economizer countercurrent to crossflow					
See Data Check Messages Report for Warning Messages.					
See Runtime Message Report for Warning Messages.					
Process Conditions		Outside		Tubeside	
Fluid name		Exhaust Gas		Thermal Oil	
Fluid condition		Sens. Gas		Sens. Liquid	
Total flow rate (kg/s)		0,971		8,590	
Weight fraction vapor, In/Out		1,000		0,000	
Temperature, In/Out (Deg C)		452,84		68,23	
Skin temperature, Min/Max (Deg C)		68,69		68,68	
Pressure, Inlet/Outlet (kPa)		785,011		488,452	
Pressure drop, Total/Allow (kPa) (kPa)		6,513e-3		7,022	
Midpoint velocity (m/s)		0,11		0,47	
- In/Out (m/s)				0,12	
Heat transfer safety factor (--)		1		1	
Fouling (m2-K/W)		0,001760		0,000176	
Exchanger Performance					
Outside film coef (W/m2-K)		18,85		Actual U (W/m2-K) 3,931	
Tubeside film coef (W/m2-K)		134,00		Required U (W/m2-K) 3,902	
Clean coef (W/m2-K)		4,032		Area (m2) 1321,30	
Hot regime		Sens. Gas		Overdesign (%) 0,74	
Cold regime		Sens. Liquid		Tube Geometry	
EMTD (Deg C)		61,3		Tube type High-finned	
Duty (MegaWatts)		0,316		Tube OD (mm) 25,400	
Unit Geometry				Tube ID (mm) 22,910	
Bays in parallel per unit		1		Length (m) 1,300	
Bundles parallel per bay		1		Area ratio(out/in) (--) 26,1168	
Extended area (m2)		1321,30		Layout Staggered	
Bare area (m2)		56,091		Trans pitch (mm) 60,500	
Bundle width (m)		1,377		Long pitch (mm) 52,393	
Nozzle		Inlet Outlet		Number of passes (--) 12	
Number (--)		1 1		Number of rows (--) 30	
Diameter (mm)		199,900 199,900		Tubecount (--) 660	
Velocity (m/s)		0,27 0,27		Tubecount Odd/Even (--) 22 / 22	
R-V-SQ (kg/m-s2)		73,53 74,40		Tube material Copper	
Pressure drop (kPa)		0,040 0,026		Fin Geometry	
Fan Geometry				Type Plain round	
No/bay (--)		0		Fins/length fin/meter 433,0	
Fan ring type				Fin root mm 25,400	
Diameter (m)		0,000		Height mm 15,875	
Ratio, Fan/bundle face area (--)				Base thickness mm 0,400	
Driver power (kW)		0,00		Over fin mm 57,150	
Tip clearance (mm)		0,000		Efficiency (%) 94,8	
Efficiency (%)		0		Area ratio (fin/bare) (--) 23,5565	
Airside Velocities		Actual Standard		Material Copper	
Face (m/s)		9,061e-2		Thermal Resistance; %	
Maximum (m/s)		0,23		Air 20,85	
Flow (100 m3/min)		0,097		Tube 76,62	
Velocity pressure (Pa)		0,00		Fouling 2,50	
Bundle pressure drop (Pa)		6,51		Metal 0,03	
Bundle flow fraction (--)		1,000		Bond 0,00	
Bundle 100,00		Airside Pressure Drop; %		Louvers 0,00	
Ground clearance 0,00		Fan guard 0,00		Hail screen 0,00	
Fan ring 0,00		Fan area blockage 0,00		Steam coil 0,00	

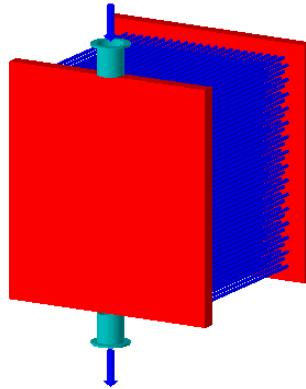


Tabel 4.17 Data utama hasil *running software* HTRI untuk *Economizer II*

No.	Properti	Hasil	Nilai Maks.
1.	<i>Over Design</i>	0,74 (%)	10 (%)
2.	<i>Pressure drop exhaust gas</i>	0,006 (kPa)	6,8 (kPa)
3.	<i>Pressure drop thermal oil</i>	7,022 (kPa)	50 (kPa)
4.	<i>Duty</i>	0,316 (M.Watts)	
	Properti	Nilai Input	Nilai Output
1.	Temperatur <i>exhaust gas</i>	452,84 (°C)	69,04 (°C)
2.	Temperatur <i>thermal oil</i>	68,23 (°C)	92,94 (°C)

Dari hasil di atas, *economizer II* menghasilkan *duty* sebesar 316 kW. *Economizer II* sebagai *equipment* pemanasan tahap 2.

Gambar 4.10 Hasil *running software* HTRI untuk 2D *Exchanger Drawing Economizer II*



Gambar 4.11 Hasil *running software* HTRI untuk 3D Exchanger Drawing Economizer II

Tabel 4.18 Dimensi Economizer II

No.	Dimensi	Ukuran (m)
1	Panjang	1.377 m
2	Lebar	1.3 m
3	Tinggi	1.624 m

Dari hasil *running software* HTRI untuk *economizer I*, *economizer II*, *Economizer I* memiliki duty sebesar 338 kW dan *economizer II* sebesar 316 kW. Kebutuhan panas yang didapat oleh *economizer I* dan *economizer II* dari *exhaust gas auxiliary engine* yaitu sebesar 654 kW atau 23,1% dari total kebutuhan panas 2830,77 kW. Panas yang dihasilkan tidak cukup untuk mengcover kebutuhan karena *mass flow rate* dari *exhaust gas auxiliary engine* yang kecil.

Maka dari itu dibutuhkan solusi untuk memenuhi kebutuhan panas dengan *additional heating* dari *thermal oil boiler*. Kebutuhan panas yang dibutuhkan dari *thermal oil boiler* :

$$\begin{aligned}
 &= \text{Total kebutuhan panas} - \text{duty economizer I \& II} \\
 &= 2830,77 \text{ kW} - 654 \text{ kW} \\
 &= 2176,77 \text{ kW} \\
 &= 7427448,3413 \text{ BTU/Hr} \\
 &= 7,4 \text{ M BTU/Hr}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Spesifikasi *thermal oil boiler*

<b>Brand</b>	Fulton
<b>Type</b>	FT-C 0800
<b>Heat Output</b>	8 M BTU/Hr
<b>Fuel Usage</b>	263,7 LPH
<b>Overall Height</b>	3,632 m
<b>Overall Depth</b>	2,736 m
<b>Heater Width</b>	1,791 m

Pada tabel di atas, merupakan spesifikasi *thermal oil boiler* yang sesuai dengan perhitungan kebutuhan pemanasan. *Project Guide* untuk spesifikasi *thermal oil boiler* dilampirkan pada lampiran 14.

*Heat Output Thermal Oil Boiler*

= 8000000 BTU/Hr

= 2344,56 kW

Total kebutuhan panas yang tersedia sebesar

= *Duty Economizer I* + *Duty Economizer II* + *Heat Output Thermal Oil Boiler*


= 338 kW + 316 kW + 2344,56 kW

= 2998,56 kW

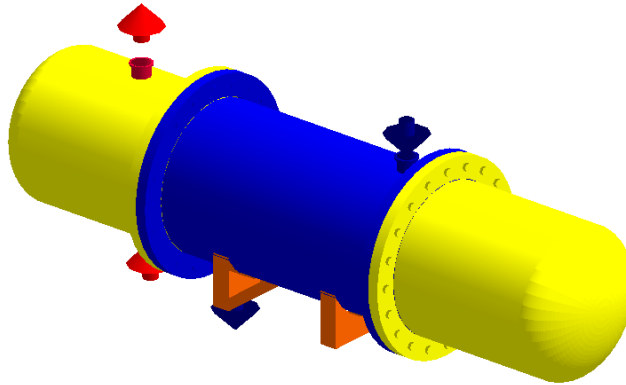
Dari penambahan *thermal oil boiler* ini, kebutuhan panas telah mencukupi untuk memanaskan air balas pada kapal MT. RH Tanker. *Thermal Oil Boiler* menjadi *equipment* dalam proses pemanasan tahap ke 3. Proses pemanasan air balas tidak langsung bersentuhan dengan 3 *equipment* yang telah dijelaskan di atas, namun terdapat *medium heat transfer* yaitu *thermal oil*.

Pada *thermal oil boiler* dipasangkan *system control* yaitu *thermostatic switch* yang menjadi kontrol apabila *thermal oil* telah mencapai temperatur sebesar 186,8°C untuk mendapatkan temperatur air balas sebesar 71°C. Selanjutnya, dilakukan desain *heat exchanger* sebagai *equipment* untuk melakukan transfer panas dari *thermal oil* yang telah melewati 3 proses tahap pemanasan pada *economizer I*, *economizer II*, dan *thermal oil boiler* dengan air balas.

Tabel 4.20 Hasil *running software* HTRI untuk *Output Summary Heat Exchanger*

		<b>Output Summary</b>		Page 1
		Released to the following HTRI Member Company:		
		ITS		
		Rizky Pradiya Ardian		
Xist E Ver. 6.00 20/06/2017 3:31 SN: Vals100+				SI Units
Rating - Horizontal Multipass Flow TEMA BEM Shell With Single-Segmental Baffles				
See Data Check Messages Report for Informative Messages.				
See Runtime Message Report for Warning Messages.				
<b>Process Conditions</b>		<b>Cold Shellside</b>	<b>Hot Tubeside</b>	
Fluid name		Seawater		Thermal Oil
Flow rate (kg/s)		9,9300	8,5900	
Inlet/Outlet Y (Wt. frac vap.)		0,000	0,000	
Inlet/Outlet T (Deg C)		29,00	96,57	264,00 81,19
Inlet P/Avg (kPa)		490,007	489,816	481,437 479,226
dP/Allow. (kPa)		0,382	49,001	4,421 50,001
Fouling (m2-K/W)		0,000352		0,000176
<b>Exchanger Performance</b>				
Shell h (W/m2-K)		1663,63	Actual U (W/m2-K)	89,81
Tube h (W/m2-K)		118,02	Required U (W/m2-K)	89,00
Hot regime (--) Sens. Liquid			Duty (MegaWatts)	2,8441
Cold regime (--) Sens. Liquid			Area (m2)	436,818
EMTD (Deg C)		73,2	Overdesign (%)	0,91
<b>Shell Geometry</b>		<b>Baffle Geometry</b>		
TEMA type (--) BEM		Baffle type (--)		Single-Seg.
Shell ID (mm) 1663,60		Baffle cut (Pct Dia.)		15,79
Series (--) 1		Baffle orientation (--)		Perpend.
Parallel (--) 1		Central spacing (mm)		187,879
Orientation (deg) 0,00		Crosspasses (--)		11
<b>Tube Geometry</b>		<b>Nozzles</b>		
Tube type (--) Plain		Shell inlet (mm)		204,700
Tube OD (mm) 22,225		Shell outlet (mm)		204,700
Length (m) 3,048		Inlet height (mm)		260,364
Pitch ratio (--) 1,2500		Outlet height (mm)		260,364
Layout (deg) 30		Tube inlet (mm)		199,900
Tubecount (--) 2228		Tube outlet (mm)		199,900
Tube Pass (--) 12				
<b>Thermal Resistance; %</b>		<b>Velocities; m/s</b>		<b>Flow Fractions</b>
Shell 5,40		Shellside 4,366e-2		A 0,508
Tube 89,38		Tubeside 0,16		B 0,215
Fouling 5,02		Crossflow 0,15		C 0,034
Metal 0,21		Window 4,637e-2		E 0,211
				F 0,031





Gambar 4.13 Hasil *running software* HTRI untuk 3D *Exchanger Drawing Heat Exchanger*

Tabel 4.22 Dimensi *Heat Exchanger*

No.	Dimensi <i>Heat Exchanger</i>	Ukuran (m)
1	Panjang	4,80 m
2	Lebar	1,68 m
3	Tinggi	2,13 m

Contoh perhitungan waktu pemanasan air balas pada tangki balas V (*portside*)

Waktu pemanasan air balas :

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m} \times C_p \times \Delta T & \dot{m} &= m/t \\
 \dot{m} &= m/t & m &= \rho \times V \\
 t &= m/\dot{m} & m &= 1021,35 \times 231,5 \\
 &= 236441,36 / 9,93 & m &= 236441,36 \text{ kg} \\
 t &= 6,619 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Q = Kalor (J)

m = Massa (Kg)

C<sub>p</sub> = Panas Spesifik (J/Kg K)

$\dot{m}$  = *Mass flow rate* (kg/s)

t = Waktu (jam)

V = Volume (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = *Density* (kg/m<sup>3</sup>)

Tabel 4.23 Waktu pemanasan air balas tiap tangki

No. Tangki Balas	Volume Tangki Balas (m <sup>3</sup> )	Massa Air Laut (kg)	$\dot{m}$ Air Laut (kg/s)	Waktu Pemanasan (jam)
I (PS)	30,5	31151,02	9,93	0,87
I (SB)	30,5	31151,02	9,93	0,87
II (PS)	121	123582,75	9,93	3,46
II (SB)	121	123582,75	9,93	3,46
III (PS)	198,5	202736,98	9,93	5,67
III (SB)	198,5	202736,98	9,93	5,67
IV (PS)	222,5	227249,26	9,93	6,36
IV (SB)	222,5	227249,26	9,93	6,36
V (PS)	231,5	236441,37	9,93	6,61
V (SB)	231,5	236441,37	9,93	6,61
VI (PS)	218,5	223163,88	9,93	6,24
VI (SB)	218,5	223163,88	9,93	6,24
VII (PS)	151,5	154733,77	9,93	4,33
VII (SB)	151,5	154733,77	9,93	4,33
<b>Total Waktu Sirkulasi (jam)</b>				<b>67,08</b>

Detail waktu pemanasan air balas tiap tangki terhadap variasi *temperature* dalam bentuk grafik dilampirkan pada bagian lampiran 10 - lampiran 13.

#### 4.8 Desain Sistem *Ballast Water Treatment*

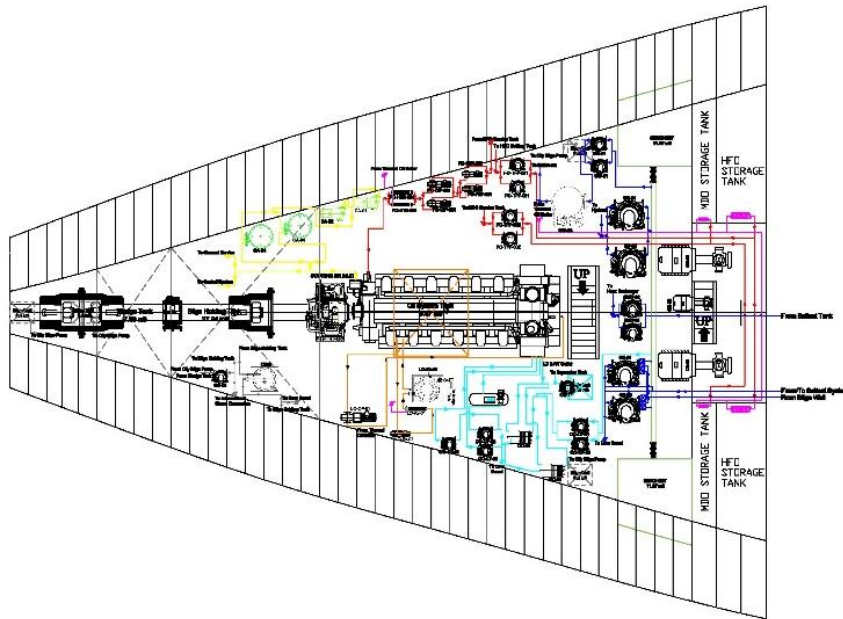
Desain Sistem *Ballast Water Treatment* merupakan tahap dalam analisa untuk mengilustrasikan skenario skripsi dalam bentuk *key plan* dan *engine room layout*. Dari *key plan* ini dapat menentukan jumlah resistensi *fitting* dan *head losses* untuk menentukan dan memilih kemampuan pompa yang sesuai.

#### 4.8.1. Key Plan BWT



#### 4.8.2. Engine Room Layout BWT

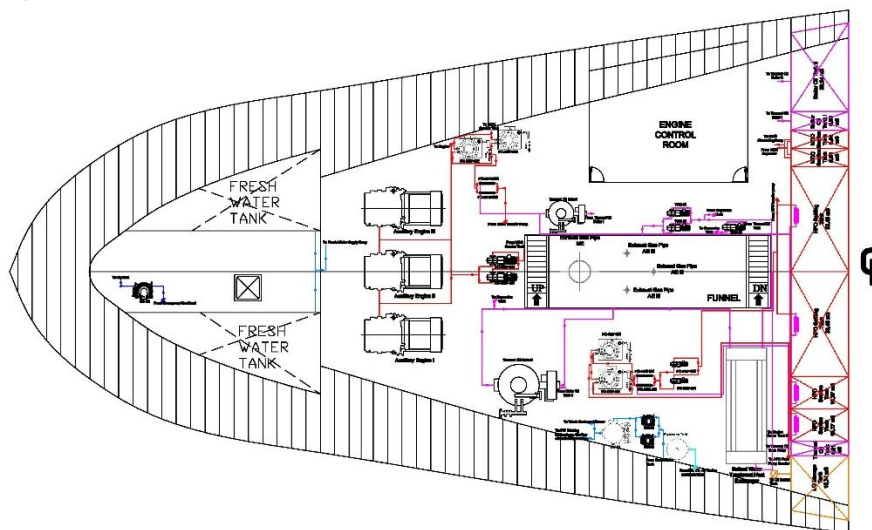
##### *Tank Top Plan*



Gambar 4.15 *Tank Top Plan Layout BWT*

Pada gambar *tank top plan layout* BWT terdapat tambahan *equipment* pompa ballast water treatment, dan *space* pada *tank top* masih *available* untuk penambahan *equipment* tersebut. Pada lampiran, dilampirkan *engineering drawing* untuk *tank top plan layout* BWT pada ukuran gambar yang lebih besar.

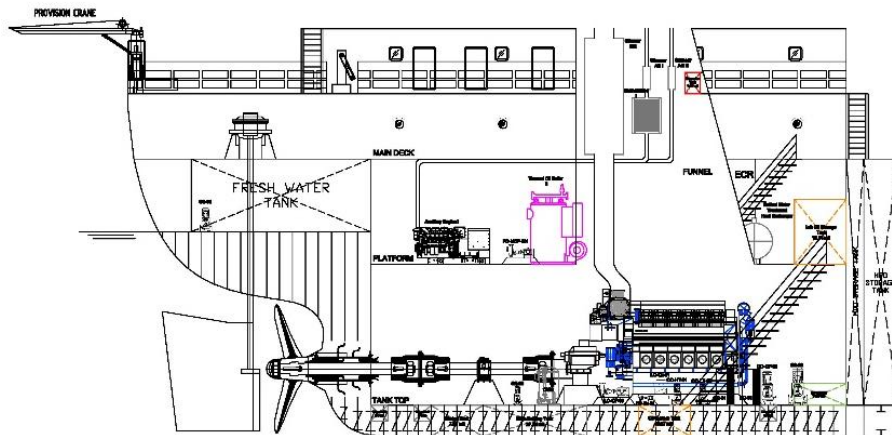
##### *Platform*



Gambar 4.16 *Platform Plan Layout BWT*

Pada gambar *platform plan layout* BWT terdapat *equipment* tambahan yaitu pompa *thermal oil*, pompa *thermal oil tank*, *heat exchanger*, dan *thermal oil boiler*. Selanjutnya juga terdapat tambahan tangki untuk *thermal oil* dan tangki bahan bakar *thermal oil boiler* dan *space* pada *platform plan* masih *available* untuk penambahan *equipment* dan tangki tersebut. Pada lampiran, dilampirkan *engineering drawing* untuk *platform plan layout* BWT pada ukuran gambar yang lebih besar.

*Center Line Looking to Portside View*



Gambar 4.17 *Center Line Looking to Portside View* BWT

Pada gambar *center line looking to portside view* BWT terdapat *equipment* tambahan pada bagian *funnel* yaitu *economizer* I dan *economizer* II. Selanjutnya juga terdapat tambahan tangki untuk *expansion tank thermal oil* pada bagian *funnel* dan *space* pada bagian *funnel* masih *available* untuk penambahan *equipment* dan tangki tersebut dimana lebar *funnel* sebesar 3 meter. Pada lampiran, dilampirkan *engineering drawing* untuk *center line looking to portside view* BWT pada ukuran gambar yang lebih besar.

#### 4.8.3. Perhitungan Head Loss Pompa Ballast Water Treatment

##### Spesifikasi Pipa *Ballast Water Treatment*

Standar	: JIS G 3452 SGP-E
Material	: Carbon Steel, Galvanized
Diameter Dalam (Dh)	: 204,7 mm / 8,06 inch
Tebal	: 5,8 mm / 0,23 inch
Diameter Luar	: 216,3 mm / 8,52 inch
Nominal Size	: 200 A

##### Perhitungan Head

Head Static (Hs)	: 7,567 m
Head Pressure (Hp)	: $(P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}) / \gamma$
	: 0 m ; dimana $P_{\text{discharge}} = P_{\text{suction}}$

$$\text{Head Velocity (Hv)} : (v^2 \text{ discharge} - v^2 \text{ suction}) / 2g$$

$$: 0 \text{ m ; dimana } v \text{ discharge} = v \text{ suction}$$

Perhitungan *Head Losses* pada sisi *suction*

$$\text{Reynold number (Rn)} :$$

$$\text{Viskositas kinematis} : 0,86 \text{ Cst pada } 29^\circ\text{C} = 0,00000086 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Ds} : 204,7 \text{ mm ; Hasil dari software HTRI}$$

$$\text{Dh} : 204,7 \text{ mm}$$

$$\text{velocity} : Q / A ; \quad Q = Q \text{ thermal oil pump}$$

$$: 35 / 0,033 ; \quad A = 1/4 \times \pi \times \text{Dh}^2$$

$$A = 0,033 \text{ m}^2$$

$$: 0,296 \text{ m/s}$$

$$\text{Rn} : v \times \text{Dh} / n$$

$$: 0,296 \times 0,204 / 0,00000086$$

$$: 70352,5 ; \text{ Aliran bersifat turbulen}$$

Karena aliran bersifat turbulen, maka menggunakan rumus

$$f : 0,02 + 0,0005/\text{Dh}$$

$$: 0,02 / 0,1024$$

$$: 0,02$$

$$\text{Panjang pipa pada sisi suction (L)}$$

$$: 131,772 \text{ m}$$

$$\text{Major losses (Hf1)} : f \times L \times v^2 / (\text{Dh} \times 2g)$$

$$: 0,02 \times 131,772 \times 0,296^2 / (0,204 \times 2 \times 9,8)$$

$$: 0,0574 \text{ m}$$

*Minor losses* (Hi1) terjadi karena adanya aksesoris pada pipa

Tabel 4.24 *Minor losses* pada pompa *ballast water treatment*

No.	Tipe	N	k	n x k
1	<i>Butterfly Valve</i>	2	0,63	1,26
2	<i>Tee</i>	9	0,84	7,56
3	<i>Elbow 90</i>	4	0,42	1,68
4	<i>Strainer</i>	2	0,58	1,16
<b>Total</b>				11,66

$$\text{Minor Losses (Hi1)} : k \text{ total} \times v^2 / 2g$$

$$: 11,66 \times 0,296^2 / (2 \times 9,8)$$

$$: 0,052 \text{ m}$$

Perhitungan *Head Losses* pada sisi *discharge*

$$\text{Reynold number (Rn)} :$$

$$\text{Viskositas kinematis} : 0,86 \text{ Cst pada } 29^\circ\text{C} = 0,00000086 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Ds} : 204,7 \text{ mm ; Hasil dari software HTRI}$$

$$\begin{aligned}
 Dh &: 204,7 \text{ mm} \\
 \text{velocity} &: Q / A ; \quad Q = Q_{\text{thermal oil pump}} \\
 &: 35 / 0,037 ; \quad A = 1/4 \times \pi \times Dh^2 \\
 & \quad A = 0,033 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &: 0,296 \text{ m/s} \\
 &: v \times Dh / n \\
 &: 0,296 \times 0,204 / 0,00000086 \\
 &: 70352,5 ; \text{ Aliran bersifat turbulen}
 \end{aligned}$$

Karena aliran bersifat turbulen, maka menggunakan rumus

$$\begin{aligned}
 f &: 0,02 + 0,0005/Dh \\
 &: 0,02 / 0,1024 \\
 &: 0,02
 \end{aligned}$$

Panjang pipa pada sisi *discharge* (L)

$$: 269,677 \text{ m}$$

*Major losses* (Hf2)

$$\begin{aligned}
 &: f \times L \times v^2 / (Dh \times 2g) \\
 &: 0,02 \times 269,677 \times 0,296^2 / (0,204 \times 2 \times 9,8) \\
 &: 0,12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

*Minor losses* (Hi2) terjadi karena adanya aksesoris pada pipa

Tabel 4.25 Minor losses pada pompa ballast water treatment

No.	Type	N	k	n x k
1	Tee	8	0,84	6,72
2	Elbow 90	13	0,42	5,46
3	SDNRV	1	1,4	1,4
4	Strainer	1	0,58	0,58
5	Butterfly Valve	2	0,63	1,26
			<b>Total</b>	15,42

*Minor Losses* (Hi2)

$$\begin{aligned}
 &: k_{\text{total}} \times v^2 / 2g \\
 &: 15,42 \times 0,296^2 / (2 \times 9,8) \\
 &: 0,069 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Total *Head Losses*

$$\begin{aligned}
 &: H_s + H_v + H_p + H_{f1} + H_{i1} + H_{f2} + H_{i2} \\
 &: 7,567 + 0 + 0 + 0,0574 + 0,052 + 0,12 + 0,069 \\
 &: 7,86 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.26 Spesifikasi pompa ballast water treatment

<b>Brand</b>	Sili Pump
<b>Type</b>	Centrifugal
<b>Model</b>	65CLZ-8
<b>Capacity</b>	35 m <sup>3</sup> /h
<b>Head</b>	32 m
<b>Power</b>	7,5 kW

*Project Guide* untuk spesifikasi pompa *ballast water treatment* dilampirkan pada lampiran 15.

#### 4.8.4. Perhitungan *Head Loss* Pompa *Thermal Oil*

##### Spesifikasi Pipa *Thermal Oil*

Standar	: JIS G 3454 (STPG-38) Sch.40
Material	: <i>Carbon Steel, Galvanized</i>
Diameter Dalam (Dh)	: 199,9 mm / 7,87 inch
Tebal	: 8,2 mm / 0,32 inch
Diameter Luar	: 216,3 mm / 8,52 inch
Nominal Size	: 200 A

##### Perhitungan *Head*

<i>Head Static</i> (Hs)	: 7,68 m
<i>Head Pressure</i> (Hp)	: $(P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}) / \gamma$ : 0 m ; dimana $P_{\text{discharge}} = P_{\text{suction}}$
<i>Head Velocity</i> (Hv)	: $(v^2_{\text{discharge}} - v^2_{\text{suction}}) / 2g$ : 0 m ; dimana $v_{\text{discharge}} = v_{\text{suction}}$

##### Perhitungan *Head Losses* pada sisi *suction*

<i>Reynold number</i> (Rn)	:
Viskositas kinematis	: 29,38 Cst pada 40°C = 0,00002938 m <sup>2</sup> /s
Ds	: 199,9 mm ; Hasil dari <i>software</i> HTRI
Dh	: 199,9 mm
velocity	: $Q / A$ ; $Q = Q_{\text{thermal oil pump}}$ : 30 / 0,0314 ; $A = 1/4 \times \pi \times Dh^2$ : 0,266 m/s ; $A = 0,0314 \text{ m}^2$
Rn	: $v \times Dh / \nu$ : 0,266 x 0,199 / 0,00002938 : 1807,6 ; Aliran bersifat laminar

Karena aliran bersifat laminar, maka menggunakan rumus

f	: $64 / Rn$ : $64 / 1807,6$ : 0,035
---	-------------------------------------------

##### Panjang pipa pada sisi *suction* (L)

: 10,86 m

<i>Major losses</i> (Hf1)	: $f \times L \times v^2 / (Dh \times 2g)$ : $0,035 \times 10,86 \times 0,266^2 / (0,199 \times 2 \times 9,8)$ : 0,0069 m
---------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Minor losses* (Hi1) terjadi karena adanya aksesoris pada pipa

Tabel 4.27 *Minor losses* pada pompa *thermal oil*

No.	Tipe	n	k	n x k
1	<i>Butterfly Valve</i>	2	0,63	1,26
2	<i>Tee</i>	2	0,84	1,68
3	<i>Elbow 90</i>	4	0,42	1,68
4	<i>Strainer</i>	1	0,58	0,58
			<b>Total</b>	5,2

$$\begin{aligned}
 \text{Minor Losses (Hi1)} &: k \text{ total} \times v^2 / 2g \\
 &: 5,2 \times 0,266^2 / (2 \times 9,8) \\
 &: 0,019 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *Head Losses* pada sisi *discharge*

$$\begin{aligned}
 \text{Reynold number (Rn)} &: \\
 \text{Viskositas kinematis} &: 29,38 \text{ Cst pada } 40^\circ\text{C} = 0,00002938 \text{ m}^2/\text{s} \\
 \text{Ds} &: 199,9 \text{ mm} ; \text{ Hasil dari software HTRI} \\
 \text{Dh} &: 199,9 \text{ mm} \\
 \text{velocity} &: Q / A ; \quad Q = Q \text{ thermal oil pump} \\
 &: 30 / 0,0314 ; \quad A = 1/4 \times \pi \times \text{Dh}^2 \\
 &\quad A = 0,0314 \text{ m}^2 \\
 &: 0,266 \text{ m/s} \\
 \text{Rn} &: v \times \text{Dh} / \nu \\
 &: 0,266 \times 0,199 / 0,00002938 \\
 &: 1807,6 ; \text{ Aliran bersifat laminar}
 \end{aligned}$$

Karena aliran bersifat laminar, maka menggunakan rumus

$$\begin{aligned}
 f &: 64 / \text{Rn} \\
 &: 64 / 1807,6 \\
 &: 0,035
 \end{aligned}$$

Panjang pipa pada sisi *discharge* (L)

$$: 45,81 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Major losses (HF2)} &: f \times L \times v^2 / (\text{Dh} \times 2g) \\
 &: 0,035 \times 45,81 \times 0,266^2 / (0,199 \times 2 \times 9,8) \\
 &: 0,03 \text{ m}
 \end{aligned}$$

*Minor losses* (Hi2) terjadi karena adanya aksesoris pada pipa

Tabel 4.28 *Minor losses* pada pompa *thermal oil*

No.	Tipe	n	k	n x k
1	<i>Tee</i>	2	0,84	1,68
2	<i>Elbow 90</i>	13	0,42	5,46
3	SDNRV	1	1,4	1,4
			<b>Total</b>	8,54

$$\begin{aligned}
 \text{Minor Losses (Hi2)} & : k_{\text{total}} \times v^2 / 2g \\
 & : 8,54 \times 0,266^2 / (2 \times 9.8) \\
 & : 0,031 \text{ m} \\
 \\ 
 \text{Total Head Losses} & : H_s + H_v + H_p + H_{f1} + H_{i1} + H_{f2} + H_{i2} \\
 & : 7,68 + 0 + 0 + 0,0069 + 0,0019 + 0,03 + 0,031 \\
 & : 7,77 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.29 Spesifikasi pompa *thermal oil*

<b>Brand</b>	Sili Pump
<b>Type</b>	<i>Centrifugal</i>
<b>Model</b>	RY65-40-200
<b>Capacity</b>	30 m <sup>3</sup> /h
<b>Head</b>	48 m
<b>Power</b>	7,5 kW

*Project Guide* untuk spesifikasi pompa *thermal oil* dilampirkan pada lampiran 16.

#### 4.8.5. Perhitungan Head Loss Pompa Thermal Oil Tank

##### Spesifikasi Pipa Thermal Oil Tank

Standar	: JIS G 3454 (STPG-38) Sch.40
Material	: <i>Carbon Steel, Galvanized</i>
Diameter Dalam (Dh)	: 199,9 mm / 7,87 inch
Tebal	: 8,2 mm / 0,32 inch
Diameter Luar	: 216,3 mm / 8,52 inch
Nominal Size	: 200 A

##### Perhitungan Head

<i>Head Static</i> (Hs)	: 8,8593 m
<i>Head Pressure</i> (Hp)	: $(P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}) / \gamma$ : 0 m ; dimana $P_{\text{discharge}} = P_{\text{suction}}$
<i>Head Velocity</i> (Hv)	: $(v^2_{\text{discharge}} - v^2_{\text{suction}}) / 2g$ : 0 m ; dimana $v_{\text{discharge}} = v_{\text{suction}}$

##### Perhitungan Head Losses pada sisi suction

<i>Reynold number</i> (Rn)	:
Viskositas kinematis	: 29,38 Cst pada 40°C = 0,00002938 m <sup>2</sup> /s
Ds	: 199,9 mm ; Hasil dari <i>software</i> HTRI
Dh	: 199,9 mm
velocity	: $Q / A$ ; $Q = Q_{\text{thermal oil pump}}$ : 30 / 0,0314 ; $A = 1/4 \times \pi \times Dh^2$ : $A = 0,0314 \text{ m}^2$
	: 0,266 m/s
Rn	: $v \times Dh / \nu$

$$: 0,266 \times 0,199 / 0,00002938$$

$$: 1807,6 ; \text{ Aliran bersifat laminar}$$

Karena aliran bersifat laminar, maka menggunakan rumus

$$f : 64 / Rn$$

$$: 64 / 1807,6$$

$$: 0,035$$

Panjang pipa pada sisi *suction* (L)

$$: 14,51 \text{ m}$$

$$\text{Major losses (Hf1)} : f \times L \times v^2 / (Dh \times 2g)$$

$$: 0,035 \times 14,51 \times 0,266^2 / (0,199 \times 2 \times 9,8)$$

$$: 0,0093 \text{ m}$$

*Minor losses* (Hi1) terjadi karena adanya aksesoris pada pipa

Tabel 4.30 *Minor losses* pada pompa *thermal oil tank*

No.	Tipe	n	k	n x k
1	<i>Butterfly Valve</i>	2	0,63	1,26
2	<i>Elbow 90</i>	2	0,42	0,84
3	<i>Strainer</i>	1	0,58	0,58
<b>Total</b>				2,68

$$\text{Minor Losses (Hi1)} : k \text{ total} \times v^2 / 2g$$

$$: 2,68 \times 0,266^2 / (2 \times 9,8)$$

$$: 0,01 \text{ m}$$

Perhitungan *Head Losses* pada sisi *discharge*

$$\text{Reynold number (Rn)} :$$

$$\text{Viskositas kinematis} : 29,38 \text{ Cst pada } 40^\circ\text{C} = 0,00002938 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Ds : 199,9 \text{ mm} ; \text{ Hasil dari software HTRI}$$

$$Dh : 199,9 \text{ mm}$$

$$\text{velocity} : Q / A ; \quad Q = Q \text{ thermal oil pump}$$

$$: 30 / 0,0314 ; \quad A = 1/4 \times \pi \times Dh^2$$

$$A = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$: 0,266 \text{ m/s}$$

$$Rn : v \times Dh / \nu$$

$$: 0,266 \times 0,199 / 0,00002938$$

$$: 1807,6 ; \text{ Aliran bersifat laminar}$$

Karena aliran bersifat laminar, maka menggunakan rumus

$$f : 64 / Rn$$

$$: 64 / 1807,6$$

$$: 0,035$$

Panjang pipa pada sisi *discharge* (L)



: 12,87 m

$$\begin{aligned} \text{Major losses (Hf2)} &: f \times L \times v^2 / (Dh \times 2g) \\ &: 0,035 \times 12,87 \times 0,266^2 / (0,199 \times 2 \times 9,8) \\ &: 0,008 \text{ m} \end{aligned}$$

*Minor losses* (Hi2) terjadi karena adanya aksesoris pada pipa

Tabel 4.31 *Minor losses* pada pompa *thermal oil tank*

No.	Type	n	k	n x k
1	Elbow 90	4	0,42	1,68
2	SDNRV	1	1,4	1,4
			<b>Total</b>	3,08

$$\begin{aligned} \text{Minor Losses (Hi2)} &: k \text{ total} \times v^2 / 2g \\ &: 3,08 \times 0,266^2 / (2 \times 9,8) \\ &: 0,011 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Head Losses} &: H_s + H_v + H_p + H_{f1} + H_{i1} + H_{f2} + H_{i2} \\ &: 8,859 + 0 + 0 + 0,0093 + 0,01 + \\ &\quad 0,008 + 0,011 \\ &: 8,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.32 Spesifikasi pompa *thermal oil tank*

<b>Brand</b>	Sili Pump
<b>Type</b>	<i>Centrifugal</i>
<b>Model</b>	RY65-40-200
<b>Capacity</b>	30 m <sup>3</sup> /h
<b>Head</b>	48 m
<b>Power</b>	7,5 kW

*Project Guide* untuk spesifikasi pompa *thermal oil tank* dilampirkan pada lampiran 16.

#### 4.8.6. Perhitungan Kebutuhan Volume *Thermal Oil*

Tabel 4.33 Volume *thermal oil* pada pipa

Bagian Pipa	Diameter (m)	Luas Penampang (m <sup>2</sup> )	Panjang Pipa (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
<i>Suction</i>	0,1999	0,0314	10,86	0,34
<i>Discharge</i>	0,1999	0,0314	45,81	1,44
<b>Total Volume (m<sup>3</sup>)</b>				1,78

Tabel 4.34 Volume *thermal oil* pada *economizer* dan *heat exchanger*

Komponen	Diameter (m)	Luas (m <sup>2</sup> )	Length (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Jumlah Tube	Total (m <sup>3</sup> )
<i>Economizer I</i>	0,0229	0,0004	1,3	0,00054	660	0,35
<i>Economizer II</i>	0,0229	0,0004	1,3	0,00054	660	0,35
<i>Heat Exchanger</i>	0,0189	0,0003	3,048	0,00086	2228	1,91
<b>Total Volume (m<sup>3</sup>)</b>						2,62

Total volume *thermal oil* yang dibutuhkan adalah sebesar  
 = Volume *thermal oil* pada pipa + Volume *thermal oil* pada *economizer* dan *heat exchanger*  
 = 1,78 m<sup>3</sup> + 2,62 m<sup>3</sup>  
 = 4,39 m<sup>3</sup>

#### 4.8.7. Perhitungan Volume Kebutuhan *Expansion Tank*

$$\begin{aligned}
 V_{et} &= k \times V_w \times [(v_1/v_0)-1] \\
 &= 2 \times 4,39 \times [(0,001112574/0,000969293)-1] \\
 &= 1,298 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$V_{et}$  = required expansion tank volume (liter)  
 $k$  = safety factor (approximately 2 is common)  
 $V_w$  = Fluid volume in the system (liter)  
 $v_1$  = Specific volume of fluid at initial (cold) temperature (m<sup>3</sup>/kg)  
 $v_0$  = Specific volume of fluid at operating (hot) temperature (m<sup>3</sup>/kg)

#### 4.9 Penyusunan *Material Requirement Plan* (MRP)

*Material Requirement Plan* (MRP) digunakan untuk mengetahui apa saja, spesifikasi, material dan kuantitas peralatan yang digunakan untuk sistem *ballast water treatment* ini.

Tabel 4.35 *Material Requirement Plan Ballast Water Treatment System* (Bagian 1)

NO	WORK BREAK DOWN		SPECIFICATION		VOLUME	
MATERIAL AND EQUIPMENT						
1	PIPING, VALVE & FITTING					
	R	100	BALLAST PIPING & FITTING			
	R	101	Ballast treatment pipe	Carbon steel galvanized, JIS G 3452 SGP-E, 200 A, Ø 216,3 mm	81	Lots
	R	102	Thermal oil pipe	Carbon steel galvanized, JIS G 3454 STGP 38, Sch.40, 200A, Ø 216,3 mm	19	Lots
	R	103	90° Elbow (Ballast water treatment)	Wrought Carbon Steel Butt Weld, JIS B 2311, 200, Ø 216,3 mm	21	Items

Tabel 4.36 *Material Requirement Plan Ballast Water Treatment System (Bagian 2)*

NO	WORK BREAK DOWN			SPECIFICATION	VOLUME	
	R	104	<i>Tee (Ballast water treatment)</i>	<i>Wrought Carbon Steel Butt Weld, JIS B 2311, 200, Ø 216,3 mm</i>	17	<i>Items</i>
	R	105	<i>90° Elbow (Thermal oil)</i>	<i>Wrought Carbon Steel Butt Weld, JIS B 2312, 200, Ø 216,3 mm, Sch 40</i>	25	<i>Items</i>
	R	106	<i>Tee (Thermal oil)</i>	<i>Wrought Carbon Steel Butt Weld, Sch 40</i>	4	<i>Items</i>
	R	107	<i>Bell mouth pipe end</i>	<i>Ductile iron, Ø 225 mm, JIS B 2312, 200, Ø 216,3 mm,</i>	14	<i>Items</i>
	R	108	<i>Insulation pipe</i>	<i>Flexwrap Fiberglas Insulation, Ø 325,12 mm, Thick. 51 mm</i>	91	<i>Pieces</i>
	R	109	<i>Flange</i>	<i>Stainless Steel, Ø 218 mm</i>	142	<i>Items</i>
	R	110	<i>Flexible Coupling</i>	<i>Carbon steel, Ø 219,1 mm, Victaulic Standard Flexible Coupling</i>	12	<i>Items</i>
	R	111	<i>Bulkhead Fitting Watertight Flange</i>	<i>Stainless steel, Ø 254 mm</i>	22	<i>Items</i>
	R	112	<i>Strainer</i>	<i>Iron, Ø 254 mm</i>	19	<i>Items</i>
	<b>R</b>	<b>200</b>	<b>VALVE</b>			
	R	201	<i>Safety Valve (Ballast Water Treatment)</i>	<i>Bronze G-CuSn5ZnPb (RG5), Ø 220 mm</i>	2	<i>Items</i>
	R	202	<i>Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	<i>Bronze RG5, Ø 220 mm</i>	5	<i>Items</i>
	R	203	<i>Remotely Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	<i>Bronze RG5, Ø 220 mm</i>	14	<i>Items</i>
	R	204	<i>Screw Down Non Return Valve (Ballast Water Treatment)</i>	<i>Bronze RG5, Ø 220 mm</i>	2	<i>Items</i>
	R	205	<i>Safety Valve (Thermal Oil)</i>	<i>Bronze G-CuSn5ZnPb (RG5), Ø 220 mm</i>	3	<i>Items</i>
	R	206	<i>Butterfly Valve (Thermal Oil)</i>	<i>Bronze G-CuSn5ZnPb (RG5), Ø 220 mm</i>	8	<i>Items</i>
	R	207	<i>Screw Down Non Return Valve (Thermal Oil)</i>	<i>Bronze RG5, Ø 220 mm</i>	3	<i>Items</i>
	<b>R</b>	<b>300</b>	<b>BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM</b>			
	R	301	<i>Ballast Water Treatment Pump</i>	<i>Electric Motor Driven, Centrifugal Type, 35 m³/h</i>	2	<i>Items</i>
	R	302	<i>Thermal Oil Tank Pump</i>	<i>Electric Motor Driven, Centrifugal Type, 30 m³/h</i>	1	<i>Items</i>
	R	303	<i>Thermal Oil Pump</i>	<i>Electric Motor Driven, Centrifugal Type, 30 m³/h</i>	2	<i>Items</i>
	<b>SUB TOTAL PIPING, VALVE, PUMP AND FITTING</b>					

Tabel 4.37 *Material Requirement Plan Ballast Water Treatment System (Bagian 3)*

NO	WORK BREAK DOWN		SPECIFICATION		VOLUME	
2	MACHINERY PART					
	M	100	ECONOMIZER (THERMAL OIL) & ACCESSORIES			
	M	101	Tube material	Copper, Ø 25,4 mm	660	Tube count /Item
	M	102	Fin material	Copper, Height 15,875 mm	433	Fin/Meter
	M	103	Nozzle	Copper, Ø 199,9 mm	2	Items
	M	200	HEAT EXCHANGER (SEA WATER) & ACCESSORIES			
	M	201	Tube material	Copper, Ø 22,225 mm	2228	Tube count
	M	202	Shell material	Copper, Ø 1663,6 mm	1	Item
	M	203	Nozzle	Copper, Shell Ø 204,7 mm, Tube Ø 199,9 mm	4	Items
	M	300	BOILER (THERMAL OIL) & ACCESSORIES			
	M	301	Thermal Oil Boiler	Vertical Coil Design, 8 M BTU/Hr	1	Item
	OTHER MACHINERY AND OUTFIT IN ENGINE ROOM					
	M	400	TANK TABLES			
	M	401	Thermal Oil Expansion Tank	Carbon Steel Plate, Thickness 8 mm	1,33	m³
	M	402	Thermal Oil Tank	Carbon Steel Plate, Thickness 8 mm	4,61	m³
	M	403	Thermal Oil Boiler Tank II	Carbon Steel Plate, Thickness 8 mm	22,94	m³
	SUB TOTAL OTHER MACHINERY AND OUTFIT IN ENGINE ROOM					
	GRAND TOTAL					

#### 4.10 Analisa Ekonomi

Pada skripsi ini, sistem *ballast water treatment* yang dirancang akan dianalisa dari segi ekonomis yang meliputi biaya investasi, biaya operasional dan *maintenance*. Analisa ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui biaya dari modifikasi sistem *ballast water treatment* yang dirancang. Skenario modifikasi ini dilakukan pada galangan kapal di Balikpapan.

##### 4.10.1 Biaya Investasi

Perhitungan biaya investasi *ballast water treatment* meliputi beberapa biaya komponen utama, perlengkapan dan *accessories*, serta *additional tank* untuk sistem *ballast water treatment*. Pada Kapal MT. RH Tanker dirancang dengan menggunakan

*ballast water treatment*, maka komponen – komponen untuk membangun suatu sistem ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.38 Biaya Investasi Komponen Utama

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	<i>Economizer I</i>	1	<i>Item</i>	RP	59.514.300	59.514.300
2	<i>Economizer II</i>	1	<i>Item</i>	RP	55.334.925	55.334.925
3	<i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item</i>	RP	94.921.965	94.921.965
4	<i>Pompa Thermal Oil</i>	3	<i>Item</i>	RP	17.386.200	52.158.600
5	<i>Pompa Ballast Water Treatment</i>	2	<i>Item</i>	RP	15.197.727	30.395.455
6	<i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item</i>	RP	484.846.467	484.846.467
7	<i>Thermal Oil Fluid</i>	4,39	m <sup>3</sup>	RP	23.456.070	102.972.148
<b>TOTAL COST (RP)</b>						880.143.859

Tabel 4.39 Biaya Investasi Perlengkapan dan *Accecories* (Bagian 1)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	<i>Pipa Ballast Water Treatment*</i>	81	<i>Lot</i>	RP	9.265.800	750.529.800
2	<i>Pipa Thermal Oil*</i>	19	<i>Lot</i>	RP	22.739.250	432.045.750
3	<i>90° Elbow (Ballast water Treatment)</i>	21	<i>Item</i>	RP	995.100	20.897.100
4	<i>90° Elbow (Thermal oil)</i>	25	<i>Item</i>	RP	1.385.700	34.642.500
5	<i>Tee (Ballast water treatment)</i>	17	<i>Item</i>	RP	1.231.200	20.930.400
6	<i>Tee (thermal oil)</i>	4	<i>Item</i>	RP	1.499.500	5.998.000
7	<i>Bell mouth pipe end</i>	14	<i>Item</i>	RP	106.992	1.497.888
8	<i>Insulation pipe</i>	91	<i>Piece</i>	RP	64.864	5.902.615
9	<i>Flexible Coupling</i>	12	<i>Item</i>	RP	601.830	7.221.960
10	<i>Bulkhead Fitting Watertight Flange</i>	22	<i>Item</i>	RP	140.427	3.089.394
11	<i>Strainer</i>	19	<i>Item</i>	RP	1.269.072	24.112.372
12	<i>Flange</i>	142	<i>Item</i>	RP	379.500	53.889.000
13	<i>Safety Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	RP	962.259	1.924.519
14	<i>Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	5	<i>Item</i>	RP	3.343.500	16.717.500
15	<i>Remotely Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	14	<i>Item</i>	RP	3.871.773	54.204.822
16	<i>Screw Down Non Return Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	RP	1.203.660	2.407.320
17	<i>Safety Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	RP	962.259	2.886.778

Tabel 4.40 Biaya Investasi Perlengkapan dan *Accecories* (Bagian 2)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
18	Butterfly Valve (Thermal Oil)	8	Item	RP	3.343.500	26.748.000
19	Screw Down Non Return Valve (Thermal Oil)	3	Item	RP	1.203.660	3.610.980
<b>TOTAL COST (RP)</b>						1.469.256.698

*Remarks*

\*Harga termasuk biaya instalasi

Tabel 4.41 Biaya *additional tank*

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	Thermal Oil Tank*	22,08	m <sup>2</sup>	RP	1.737.295	38.359.477
2	Boiler Oil Tank II*	51,56	m <sup>2</sup>	RP	1.737.295	89.574.937
3	Thermal Oil Expansion Tank*	9,43	m <sup>2</sup>	RP	1.737.295	16.386.168
<b>TOTAL COST (RP)</b>						144.320.582

*Remarks*

\*Harga termasuk biaya instalasi

Tabel 4.42 *Shipping Cost* (Bagian 1)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	ROUTE	VOLUME (m <sup>3</sup> )	COST (RP)
1	Economizer I	1	Item	Jakarta	2,91	3.023.748
2	Economizer II	1	Item	Jakarta	2,91	3.023.748
3	Heat Exchanger	1	Item	Jakarta	17,30	17.991.671
4	Pompa Thermal Oil	3	Item	Medan	42,85	5.848.684
5	Pompa Ballast Water Treatment	2	Item	Tangerang	0,29	596.173
6	Thermal Oil Boiler	1	Item	Jakarta	17,80	18.509.337
7	Thermal Oil Fluid	1	Item	Bekasi	5,36	5.573.750
8	Pipa Ballast Water Treatment	81	Lot	Jakarta	0,39	32.608.967
9	Pipa Thermal Oil	19	Lot	Jakarta	0,39	7.649.017
10	90° Elbow (Ballast water treatment)	21	Item	Tangerang	0,01	280.946
11	90° Elbow (Thermal oil)	25	Item	Tangerang	0,01	334.460
12	Tee (Ballast water treatment)	17	Item	Tangerang	0,44	7.822.529
13	Tee (Thermal oil)	4	Item	Tangerang	0,44	1.840.595

Tabel 4.43 *Shipping Cost* (Bagian 2)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	ROUTE	VOLUME (m <sup>3</sup> )	COST (RP)
14	<i>Bell mouth pipe end</i>	14	<i>Item</i>	Jakarta	0,20	2.863.148
15	<i>Insulation pipe</i>	91	<i>Piece</i>	Jakarta	0,03	2.589.350
16	<i>Flexible Coupling</i>	12	<i>Item</i>	Jakarta	0,26	3.220.639
17	<i>Bulkhead Fitting Watertight Flange</i>	22	<i>Item</i>	Jakarta	0,13	2.999.488
18	<i>Strainer</i>	19	<i>Item</i>	Jakarta	0,44	8.742.826
19	<i>Flange</i>	142	<i>Item</i>	Tangerang	0,13	19.360.333
20	<i>Safety Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	Jakarta	0,20	409.021
21	<i>Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	5	<i>Item</i>	Jakarta	0,29	1.533.829
22	<i>Remotely Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	14	<i>Item</i>	Jakarta	0,29	4.294.722
23	<i>Screw Down Non Return Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	Tangerang	0,29	613.532
24	<i>Safety Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	Jakarta	0,20	613.532
25	<i>Butterfly Valve (Thermal Oil)</i>	8	<i>Item</i>	Jakarta	0,29	2.454.127
26	<i>Screw Down Non Return Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	Tangerang	0,29	920.298
27	<i>Thermal Oil Tank</i>	3	<i>Plate</i>	Jakarta	0,07	231.886
28	<i>Boiler Oil Tank II</i>	6	<i>Plate</i>	Jakarta	0,07	463.772
29	<i>Thermal Oil Expansion Tank</i>	2	<i>Plate</i>	Jakarta	0,07	154.591
<b>SHIPPING COST (RP)</b>						156.568.718
<b>INSURANCE (0,3%) (RP)</b>						7.481.163
<b>ADMINISTRATION COST (RP.15.000/SHIPMENT) (RP)</b>						435.000
<b>PACKAGING COST (P X L X T X 0,6/ITEM) (RP)</b>						99.118.966
<b>TOTAL SHIPPING COST (RP)</b>						263.603.848

Biaya pengiriman menggunakan metode kubikasi dimana tarif pengiriman per m<sup>3</sup> yaitu Rp.1.040.000 untuk rute Jakarta – Balikpapan , Rp.575.000 untuk rute Surabaya – Balikpapan. Untuk rute Medan – Balikpapan menggunakan metode perhitungan pengiriman via darat (ASPERINDO) dimana panjang (cm) x lebar (cm) x tinggi (cm) : 4000 yaitu sebesar Rp. 45.500 per kg. Perhitungan detail untuk biaya *packaging cost* dilampirkan pada lampiran 17 dan lampiran 18.

Tabel 4.44 Biaya Instalasi

NO.	JOB ITEMS	QTY	WORKS VOLUME		VOLUME COST (RP)	COST (RP)
1	Pemasangan <i>Economizer</i>	2	<i>Item.Job</i>	1	4.761.144	750.529.800
2	Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item.Job</i>	1	7.593.757	432.045.750
3	Pemasangan <i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item.Job</i>	1	38.787.717	20.897.100
4	Pemasangan Pompa	5	<i>Item.Job</i>	1	1.390.896	34.642.500
5	Pemasangan <i>Valve</i>	37	<i>Item.Job</i>	1	309.742	20.930.400
<b>TOTAL COST (RP)</b>						74.318.691

Perhitungan biaya instalasi di atas tidak besar karena untuk biaya instalasi pipa dan instalasi pembuatan tangki baru pada kapal MT. RH Tanker sudah termasuk dalam biaya investasi pengadaan pipa dan tangki.

Tabel 4.45 *Grand Total Investment Cost*

NO.	SUMMARY	COST (RP)
1	<i>Investment Cost (Main Component, Equipment and Accessories, Additional Tank)</i>	2.493.721.139
2	<i>Shipping Cost</i>	263.603.848
3	<i>Installation Cost</i>	74.318.691
4	PPN (10%)	283.164.368
5	<i>Design Cost (10%)</i>	283.164.368
<b>GRAND TOTAL INVESTMENT COST</b>		3.397.972.413

#### 4.10.2 Biaya Operasional

Selama *ballast water treatment* beroperasi, terdapat biaya – biaya yang harus dikeluarkan untuk mendukung operasi dari sistem *ballast water treatment*. Biaya tersebut adalah biaya operasional.

Perhitungan kebutuhan bahan bakar untuk *thermal oil boiler* untuk beroperasi selama 67 jam yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Fuel Usage} &= 263,7 \text{ LPH} \\
 &= 0,2637 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \text{Fuel Consumption} &= \text{Fuel Usage} \times \text{Operating Time} \\
 &= 0,2637 \text{ m}^3/\text{h} \times 67 \text{ h} \\
 &= 17,67 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.46 Biaya bahan bakar MDO

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	MDO	17.670	Liter	RP	5.717	101.026.193
PPN (10%)						10.102.619
PPH (2,5%)						2.525.655
PBBKB (5%)						5.051.310
<b>TOTAL COST</b>						118.705.777



Tabel 4.47 *Summary of Operational Cost*

NO.	ITEMS	COST
1	<i>Operational Cost per Trip</i>	Rp.118.705.777
2	<i>Operational Cost per Month (7 Trip)</i>	Rp.830.940.437
3	<i>Operational Cost per Year</i>	Rp.9.971.285.244

#### 4.10.3 Biaya Maintenance

Selama *ballast water treatment* beroperasi, terdapat biaya – biaya yang harus dikeluarkan untuk menjaga kinerja dari sistem *ballast water treatment* agar tetap optimal. Biaya tersebut adalah biaya *maintenance*.

Tabel 4.48 *Biaya Maintenance*

NO.	ITEMS	COST
1	<i>Maintenance Cost per Year (4% from Grand Total Investment Cost)</i>	Rp.135.918.897
2	<i>Maintenance Cost per Month</i>	Rp.11.326.575

#### 4.10.4 Analisa Biaya Penghematan Bahan Bakar

Dari biaya operasional yang telah dihitung untuk menganalisa biaya bahan bakar *light oil* (MDO) *thermal oil boiler* sebagai *additional heating* selama proses *treatment* air balas, maka dapat dihitung biaya penghematan bahan bakar karena adanya *equipment economizer* I dan *economizer* II terhadap metode pemanasan penuh dengan *thermal oil boiler* tanpa menggunakan *equipment economizer* I dan *economizer* II.

Diketahui total kebutuhan panas untuk memanaskan air balas adalah sebesar 2830,77 kW atau sebesar 9,6 M BTU/Hr. Maka dibutuhkan *thermal oil boiler* dengan spesifikasi sebagai berikut

Tabel 4.49 Spesifikasi *thermal oil boiler* (Skenario pemanasan penuh)

<b>Brand</b>	Fulton
<b>Type</b>	FT-C 1000
<b>Heat Output</b>	10 M BTU/Hr
<b>Fuel Usage</b>	329,6 LPH
<b>Overall Height</b>	3,721 m
<b>Overall Depth</b>	3,432 m
<b>Heater Width</b>	2,413 m

Perhitungan kebutuhan bahan bakar untuk *thermal oil boiler* untuk beroperasi selama 67 jam yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Fuel Usage} &= 329,6 \text{ LPH} \\
 &= 0,3296 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \text{Fuel Consumption} &= \text{Fuel Usage} \times \text{Operating Time} \\
 &= 0,3296 \text{ m}^3/\text{h} \times 67 \text{ h} \\
 &= 22,0832 \text{ m}^3 \\
 &= 22083,2 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.50 Biaya bahan bakar MDO (Skenario pemanasan penuh)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	MDO	22.083	Liter	RP	5.717	126.258.156
PPN (10%)						12.625.816
PPH (2,5%)						3.156.454
PBBKB (5%)						6.312.908
<b>TOTAL COST</b>						148.353.334

Tabel 4.51 *Summary of Operational Cost* (Skenario pemanasan penuh)

NO.	ITEMS	COST
1	<i>Operational Cost per Trip</i>	Rp.148.353.334
2	<i>Operational Cost per Month (7 Trip)</i>	Rp.1.038.473.337
3	<i>Operational Cost per Year</i>	Rp.12.461.680.040

Tabel 4.52 Perbandingan biaya operasional

NO.	ITEMS	COST
1.	<i>Operational Cost (Thermal Oil Boiler + Economizer I + Economizer II)</i>	Rp.9.971.285.244
2.	<i>Operational Cost (Thermal Oil Boiler)</i>	Rp.12.461.680.040

Dari tabel perbandingan biaya operasional di atas, kontribusi penghematan bahan bakar *thermal oil boiler* dari pemanfaatan gas buang *auxiliary engine* dengan 2 *equipment economizer* adalah sebesar Rp.2.490.394.796 per tahun atau sebesar 19,98%

#### 4.10.5 Analisa Perbandingan *Net Present Value*

*Net Present Value* (NPV) merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini. Untuk menghitung NPV diperlukan data biaya investasi, biaya operasional, dan pemeliharaan, serta perkiraan manfaat / benefit dari proyek yang direncanakan. Pada tabel dibawah akan dijelaskan mengenai perbandingan NPV dari sistem pemanasan air balas dengan *auxiliary engine exhaust gas* dan sistem pemanasan air balas dengan *thermal oil boiler* secara penuh.

Tabel 4.53 Perbandingan NPV

Year	<i>Ballast Water Treatment System Heating with Auxiliary Engine Exhaust Gas</i>		<i>Ballast Water Treatment Heating with Thermal Oil Boiler</i>	
	<i>Cash Flow</i>	<i>Cost</i>	<i>Cash Flow</i>	<i>Cost</i>
0	<i>Investment</i>	Rp.3.397.972.413	<i>Investment</i>	Rp.3.270.493.679
1	<i>Operational</i>	Rp.10.107.204.141	<i>Operational</i>	Rp.12.592.499.787
2	<i>Operational</i>	Rp.10.107.204.141	<i>Operational</i>	Rp.12.592.499.787
3	<i>Operational</i>	Rp.10.107.204.141	<i>Operational</i>	Rp.12.592.499.787
4	<i>Operational</i>	Rp.10.107.204.141	<i>Operational</i>	Rp.12.592.499.787
5	<i>Operational</i>	Rp.10.107.204.141	<i>Operational</i>	Rp.12.592.499.787
	$\Sigma$ NPV ( <i>Discount Rate 14%</i> )	Rp.47.310.520.277	$\Sigma$ NPV ( <i>Discount Rate 14%</i> )	Rp.58.099.116.328

Pada tabel di atas, selisih NPV dari sistem pemanasan air balas dengan *auxiliary engine exhaust gas* dan sistem pemanasan air balas dengan *thermal oil boiler* secara penuh adalah sebesar Rp.10.788.596.050. Tabel perhitungan biaya investasi dan *maintenance* dari pengolahan air balas dengan pemanasan *thermal oil boiler* secara penuh dilampirkan pada lampiran 19 – lampiran 25.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan, desain dan analisa serta perhitungan nilai ekonomi sistem yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan dalam skripsi ini, yaitu

- 1) Perhitungan panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air balas pada kapal MT.RH Tanker adalah sebesar 2830,77 kW dengan rincian kalor sensibel sebesar 1674,92 kW serta *heat loss* dari tangki balas dengan air laut dan udara pada ruang muat di atas *tank top* sebesar 1155,85 kW atau sebesar 40,83% dari total kebutuhan panas. Kebutuhan panas yang besar ini terjadi akibat volume air balas yang banyak untuk dipanaskan, kebutuhan menaikkan temperatur yang tinggi yaitu sebesar 42°C untuk inaktivasi bakteri pada temperatur 71°C dan panas yang hilang selama proses *treatment* berlangsung.
- 2) Dua buah desain *economizer* yang dirancang pada *software* HTRI untuk memanaskan *thermal oil* sebagai *medium heat transfer* antara *auxiliary engine exhaust gas* dan air balas, pada *economizer* I memiliki *duty* sebesar 338 kW, *over design* sebesar 0,62% serta *pressure drop* sebesar 0,005 kPa dan selanjutnya pada *economizer* II memiliki *duty* sebesar 316 kW, *over design* sebesar 0,74% serta *pressure drop* sebesar 0,006 kPa. *Duty* dari dua buah *economizer* yang telah dirancang secara maksimal tersebut hanya dapat memenuhi kebutuhan panas sebesar 23,1% untuk memanaskan air balas. Untuk memenuhi kebutuhan panas yang kurang tersebut ditambahkan *additional heater* yaitu *thermal oil boiler* dan dipilih pada kebutuhan *heat output* sebesar 8 Mbtu/Hr atau sebesar 2344,57 kW. Pada perancangan *heat exchanger* dengan *software* HTRI untuk memanaskan air balas dari *thermal oil* didapatkan *duty* sebesar 2844,1 kW, *over design* sebesar 0,91% serta *pressure drop* sebesar 0,382 kPa. Proses sirkulasi dan pemanasan dilakukan selama kondisi *sailing* yaitu 67 jam dengan skenario pemanasan per tangki balas. Dari modifikasi sistem balas ini, telah sesuai dengan syarat IMO dalam hal efektivitas biologis serta penerimaan lingkungan
- 3) Desain sistem *ballast water treatment* ini, modifikasi sistem balas telah didesain pada *key plan* dan peletakan komponen – komponen tambahan yang didesain pada *engine room layout* yang telah terlampir. Dari modifikasi sistem ini, telah sesuai dengan syarat IMO dalam hal *practicability* dan pertimbangan keselamatan yang berkaitan dengan kapal dan awak.
- 4) *Material requirement plan* yang telah dirancang sesuai kebutuhan pada desain yang telah dilakukan, didapatkan hasil analisa ekonomi untuk modifikasi sistem balas ini dengan total biaya investasi awal yang mencakup pembelian komponen utama, perlengkapan dan *accessories* serta *additional tank* sebesar Rp.3.397.972.413. Selanjutnya biaya operasional per tahun untuk kebutuhan bahan bakar *light oil* (MDO) untuk *thermal oil boiler* sebesar Rp.9.971.285.244 dan biaya *maintenance* per tahun sebesar Rp.135.918.897. Analisa ekonomi ini menjadi pertimbangan kepada *owner* untuk memilih sistem *ballast water treatment* sesuai harga yang diinginkan dan menjadi salah satu syarat IMO dalam efektivitas biaya.

## 5.2 Saran

- 1) Untuk mendapatkan kebutuhan panas yang lebih besar lagi, dapat ditambahkan sumber panas dengan memanfaatkan gas buang dari *main engine*. Jika masih kurang, penambahan *additional thermal oil boiler* akan lebih kecil untuk mengcover kebutuhan panas.
- 2) Modifikasi sistem *ballast water treatment* ini dapat menjadi rekomendasi untuk diaplikasikan pada kapal yang memiliki *engine room* besar karena adanya penambahan *equipment heat exchanger* dan *thermal oil boiler*.
- 3) Perlu dilakukan percobaan uji kandungan air balas untuk memastikan air balas yang sudah dipanaskan sudah bebas dari bakteri yang disarankan oleh IMO.
- 4) Pada salah satu syarat IMO untuk efektivitas biaya, dapat dilakukan penelitian untuk membandingkan harga ekonomis dari masing – masing metode *ballast water treatment*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cao, Y, dkk. (2014). **Ballast Water Analysis and Heat Treatment Using Waste Heat Recovery Systems on Board Ships**. Faculty of Maritime Technology and Operations. Aelasund University College. Norway.
- [2]. IMO. (2004). **International Convention for the Control And Management of Ships Ballast Water and Sediments**. BWM/CONF/36.
- [3]. Setiawan, D. (2008). **Aplikasi Sistem Penanganan Air Balas dengan Metode Penyinaran UV dan Perlakuan Panas Pada Kapal “Star 50” Buatan PT. PAL**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [4]. IMO. (2016). **International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments (BWM)**.  
[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx). Diakses pada tanggal 27 Januari 2017.
- [5]. Prince William Sound Regional Citizens' Advisory Council. (2005). **Ballast Water Treatment Methods (Thermal Treatment)**. Fact Sheet 8.
- [6]. Bolch, C.J., Hallegraeff, G.M. (1993). **Chemical and physical treatment options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water**. Journal of Marine Environmental Engineering 1, 23–29.
- [7]. Rigby, G., Hallegraeff, G.M., Sutton, C. (1999). **Novel ballast water heating technique offers cost-effective treatment to reduce the risk of global transport of harmful marine organisms**. Marine Ecology Progress Series 191, 289–293.
- [8]. Rohmawati, W. (2017). **Technical Analysis Ballast Water Treatment By Using Economizer Utilizing Main Engines Exhaust Heat To Comply With International Ship Ballast Water Management At "Mv. Leader Win"**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [9]. Acomi, N, dkk. (2012). **Using Heat Treatment of Ballast Water for Killing Marine Microorganisms**. Constanta Maritime University.
- [10]. Matej, D. (2015). **Vessel and Ballast Water**. Global Maritime Transport and Ballast Water Management..
- [11]. Lawley, R, dkk. (2008). **The Food Safety Hazard Guidebook**. Food Safety Info. London, UK.
- [12]. Widyaningtyas, F. (2010). **Deteksi Keberadaan Antibodi Anti-*Escherichia coli* di Dalam Serum Sapi Neonatus yang Diberi Kolostrum dengan Metode Elisa**. Fakultas Kedokteran Hewan. Institut Pertanian Bogor.

- [13]. Febrianthi, A. (2013). **Perbedaan Efektivitas Antibakteri Antara Klorheksidin 2% dan Propolis 25% Terhadap *Enterococcus faecalis* (in vitro)**. Fakultas Kedokteran Gigi. Universitas Hasanuddin.
- [14]. Carlton, J. T., (2001). **Introduced Species in U.S. Coastal Waters : Environmental Impacts and Management Priorities**. Pew Oceans Commission, Arlington, Virginia, iii + 28 + (1) pp. [http://www.pewoceans.org/reports/introduced\\_species.pdf](http://www.pewoceans.org/reports/introduced_species.pdf)
- [15]. Raaymakers, S., (2002). **The Ballast Water Problem : Global Ecological, Economic and Human Health Impacts**. Presented at the RECSO / IMO Joint Seminar on Tanker Ballast Water Management & Technologies, Dubai, UAE 16-8 Dec.
- [16]. Mohamed, A, dkk. (2012). **Ballast Water Review: Impacts, Treatments and Management**. National Institute of Oceanography and Fisheries. Alexandria, Egypt.
- [17]. Sjahid, M, dkk. (2009). **Kinerja Economizer Pada Boiler**. Jurusan Statistika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [18]. A, Yunus. (2003). **Heat Transfer : A Practical Approach Second Edition**.



Lampiran 1. *Project Guide Perkins Auxiliary Engine* (Bagian 1)

**M SERIES PERKINS DIESEL GENERATING SETS**

**TECHNICAL SPECIFICATION**

**PERKINS POWERED GENERATOR SETS: M-P500**

**Quality Standards**

Our diesel generating sets meets the following standards:

GB/T2820, GB1105, YD/T502, ISO3046, ISO8525, ISO8525-3-5-6.

**Factory Test**

Each our generating sets must be got through 1 hour load test for running 0%, 25%, 50%, 75%, 100% and 110% load before dispatch, All protective devices, control functions are simulated and it's system checked, proved and then passed for dispatch. A test certificate can be provided upon request.

**MAIN SPECIFICATIONS OF GENERATOR SETS**

<i>Diesel Generator Set</i>	
<b>GENSET MODEL NOS.</b>	<b>M-P500</b>
Rated speed / frequency	1500 rpm / 50 Hz
Continuous output (KW/KVA)	360/450
Standby output (KW/KVA)	400/500
Voltage, Phase and wire	400V/230V, 3 Phase and 4 Wires
Rated power factor	0.8 (lagging)
Maximum output current(A)	649.5
Dimension(L*W*H) (mm)	3430X1167X1956
Weight(kg)	3800
<b>Rating Definitions</b> (Operation at Altitude $\leq 1000\text{m}$ , Ambient temperature $\leq 40^{\circ}\text{C}$ )	
<b>Continuous Power</b>	
These ratings are applicable for supplying continuous electrical power (at variable load) in lieu of commercially purchased power. There is no limitation to the annual hours of operation and this model can supply 10% overload power for 1 hour in 12 hours.	
<i>Diesel Engine</i>	
<b>DIESEL ENGINE MODEL</b>	<b>2806C-E16TAG1 ( UK Perkins)</b>
<b>Engine Characters</b>	Water-cooled, 6 cylinders in line, 4-cycle, direct injection
The maximum output (kW)	445
Aspiration	Turbocharged
Bore(mm) × Stroke (mm)	140X171
Fuel consumption(g/kw.h)	205 (in full Load)
Cubic Capacity (Liters)	15.8
Exhaust air flow(m <sup>3</sup> /min)	540
Compress air flow(m <sup>3</sup> /min)	38
Exhaust gas flow(m <sup>3</sup> /min)	83
Exhaust highest temperature	457°C

## Lampiran 2. Project Guide Perkins Auxiliary Engine (Bagian 2)



# Technical Data

## 2800 Series

2806C-E16TAG1  
2806C-E16TAG2

Diesel Engine - Electropak

### Basic technical data

Number of cylinders ... 6  
Cylinder arrangement ... Vertical, in line  
Cycle ... 4 stroke, compression ignition  
Induction system ... Turbocharged  
Compression ratio ... 15.9:1 Nominal  
Bore ... 140 mm  
Stroke ... 171 mm  
Cubic capacity ... 15,8 litres  
Direction of rotation ... Anti-clockwise viewed on flywheel  
Firing order ... 1, 5, 3, 6, 2, 4  
Cylinders 1 furthest from flywheel  
Total weight Electropak ... (dry) 1712 kg  
... (wet) 1818 kg  
Overall dimensions ... Height 1732 mm  
... Length 2674 mm  
... Width 1117 mm  
Moment of inertia ... Flywheel 1,95 kgm<sup>2</sup>  
Moment of inertia ... Engine 1,965 kgm<sup>2</sup>  
Cyclic irregularity for engine/flywheel (Prime power):  
1500 rev/min ... 0.0238  
1800 rev/min ... 0.0152

### Ratings

Steady state speed stability at constant load ... ± 0.25%

Electrical ratings are based on average alternator efficiency and are for guidance only (0.8 power factor being used).

### Operating point

Engine speed ... 1500/1800 rev/min  
Cooling water exit temp ... 88 - 103 °C

### Fuel data

Fuel conform to BS2869 Class A2.

### Performance

Estimated average sound pressure level, without inlet or exhaust, at 1 metre (target figures) 1500/1800 rev/min ... 102/105 dBA  
Estimated average sound power level, without inlet or exhaust 1500/1800 rev/min ... 114/116 dBA  
**Note:** All data based on operation to ISO 3046/1, BS 5514 and DIN 6271 standard reference conditions.

### Test conditions

Air temperature ... 25 °C  
Barometric pressure ... 100 kPa  
Relative humidity ... 50%  
Air inlet restriction at maximum power (nominal) ... 2.5 kPa  
Exhaust back pressure ... 6.8 kPa  
Fuel temperature (inlet pump) ... 40 °C  
For test conditions relevant to data on load acceptance, refer to the Applications department.

### General installation 2806C-E16TAG1

Designation	Units	50Hz 1500 rev/min 1/2 TA Luft*			50Hz 1500 rev/min EPA Certified**			60Hz 1800 rev/min EPA Certified**		
		Cont. Baseload	Prime Power	Standby Max	Cont. Baseload	Prime Power	Standby Max	Cont. Baseload	Prime Power	Standby Max
Gross engine power	kW	315,6	401,6	444,6	315,6	401,6	444,6	407,1	509,5	562,7
Fan power	kW		12,1			12,1			20,9	
Net engine power	kW	303,5	389,5	432,5	303,5	389,5	432,5	386,2	488,6	541,8
BMEP gross	bar	16,0	20,4	22,6	16,0	20,4	22,6	17,2	21,5	23,8
Combustion air flow	m <sup>3</sup> /min	TBA	30,8	34,1	TBA	29,7	32,7	TBA	41,4	45,0
Exhaust gas temperature max (after turbo)	°C	"	458	461	"	452,5	456	"	410,7	430
Exhaust gas flow (max)	m <sup>3</sup> /min	"	78,5	87,1	"	75,0	83,2	"	98,4	110,2
Boost pressure ratio	-	"	3,1	3,4	"	2,9	3,2	"	3,5	3,9
Overall thermal efficiency	%	"	37,3	37,4	"	38,8	38,9	"	40,3	39,3
Friction power and pumping losses	kW	"	24	24	"	24	24	"	40	40
Mean piston speed	m/s		8,55			8,55			10,26	
Engine coolant flow	l/s		5,2			5,2			6,2	
Cooling fan airflow	m <sup>3</sup> /min		714			714			882	
Typical Genset Electrical	kVA	353	453	503	353	453	503	449	568	637
Output 0.8pf 25 °C (100 kPa)	kWe	282	362	402	282	362	402	359	454	509
Assumed alternator efficiency	%	93	93	93	93	93	93	93	93	94

\* & \*\* Refer to Emissions capability.

### Lampiran 3. *Project Guide* Dowtherm G Fluid

#### Product Information



## DOWTHERM G

### Synthetic Organic Heat Transfer Fluid

DOWTHERM® G heat transfer fluid contains a mixture of di- and tri-aryl compounds that provides unequalled performance in liquid phase heat transfer systems. It is the most thermally stable low pressure liquid phase heat transfer fluid on the market today and has excellent flow characteristics at low temperatures.

**Recommended use temperature range**  
20°F to 675°F (-6°C to 360°C)

#### Suitable applications

Liquid phase heat transfer systems.

For environmental, health and safety information for this product, contact your Dow sales representative or call the number for your area on the second page of this sheet for a Material Safety Data Sheet (MSDS).

#### Typical Properties of DOWTHERM G Fluid<sup>†</sup>

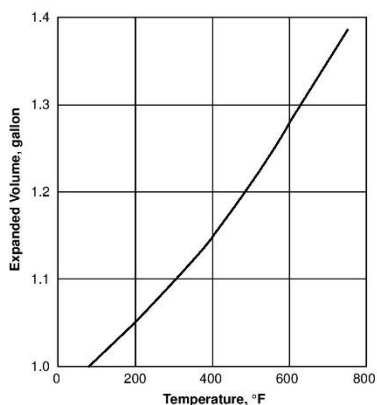
Composition: Mixture of di- and tri-aryl compounds		
Color: Light amber to brown		
Property	English Units	SI Units
Crystal Point	Below 40°F	Below 4°C
Atmospheric Reflux Boiling Point	552°F	289°C
Flash Point <sup>1</sup>	280°F	137°C
Autoignition Temperature <sup>2</sup>	810°F	432°C
Pseudo Critical Constants:		
T <sub>c</sub>	1018°F	548°C
P <sub>c</sub> , atm	27.2	27.56 bar
V <sub>c</sub> , ft <sup>3</sup> /lb	0.0505	3.150 l/kg
Average Molecular Weight	204.6	
Density @ 75°F	8.71 lb/gal	
Density @ 25°C	1043 kg/m <sup>3</sup>	

<sup>†</sup> Not to be construed as specifications

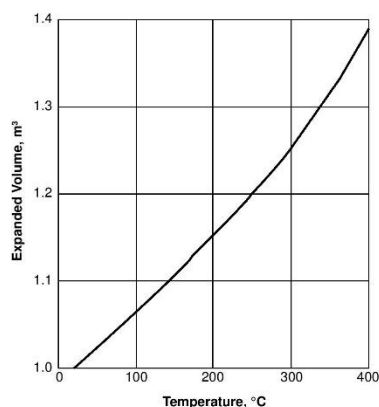
<sup>1</sup> C.O.C.

<sup>2</sup> The old ASTM procedure, D-2155-66 has been withdrawn by the testing society and replaced by ASTM E 659-78

**Thermal Expansion of DOWTHERM G Fluid  
(English Units) (Basis: 1 gallon at 77°F)**



**Thermal Expansion of DOWTHERM G Fluid  
(SI Units) (Basis: 1 m<sup>3</sup> at 25°C)**



<sup>†</sup>Trademark of The Dow Chemical Company

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

Lampiran 4. *Heat Loss* pada bagian dinding samping kapal (Bagian 1)

Data hasil perhitungan	<i>Ballast Tank</i>						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Panas yang hilang dari air balas ke dinding pelat lambung							
Grashof number (Gr)	2,03E+07	2,03E+07	2,03E+07	2,03E+07	2,03E+07	2,03E+07	2,03E+07
Prandtl number (Pr)	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00
Nusselt number (Nu)	3,51E+01	3,51E+01	3,51E+01	3,51E+01	3,51E+01	3,51E+01	3,51E+01
Film koefisien (h1)	1,62E+01	1,62E+01	1,62E+01	1,62E+01	1,62E+01	1,62E+01	1,62E+01
Panas yang hilang pada dinding pelat lambung							
$\Delta x1/k$	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04
Panas yang hilang dari dinding pelat lambung ke air laut							
Reynold number (Re)	1,07E+05	1,44E+05	1,40E+05	1,37E+05	1,44E+05	1,38E+05	1,27E+05
Prandtl number (Pr)	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,74E+00
Stanton number (Nu)	9,03E-04	8,52E-04	8,57E-04	8,60E-04	8,52E-04	8,59E-04	8,80E-04
Film koefisien (h2)	2,76E+04	2,60E+04	2,62E+04	2,63E+04	2,60E+04	2,62E+04	2,66E+04

Lampiran 5. *Heat Loss* pada bagian dinding samping kapal (Bagian 2)

Data hasil perhitungan	<i>Ballast Tank</i>						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$1/h_1$	6,19E-02	6,19E-02	6,19E-02	6,19E-02	6,19E-02	6,19E-02	6,19E-02
$\Delta x l/k$	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04
$1/h_2$	3,63E-05	3,85E-05	3,82E-05	3,81E-05	3,85E-05	3,81E-05	3,76E-05
Koesfisien perpindahan panas menyeluruh	1,61E+01	1,61E+01	1,61E+01	1,61E+01	1,61E+01	1,61E+01	1,61E+01
Luas area dinding samping (m2)	1,80E+01	2,22E+01	2,15E+01	2,10E+01	2,22E+01	2,12E+01	1,93E+01
$\Delta T$	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01
<i>Heat loss</i> (Watt)	1,21E+04	1,50E+04	1,45E+04	1,42E+04	1,50E+04	1,43E+04	1,30E+04
Total <i>heat loss</i> (Watt)	9,81E+04						

Lampiran 6. *Heat Loss* pada bagian *bottom* kapal (Bagian 1)

Data hasil perhitungan	Ballast Tank						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Panas yang hilang dari air balas ke pelat <i>bottom</i>							
Grashof number (Gr)	1,93E+06	2,99E+07	1,60E+08	2,36E+08	2,44E+08	2,27E+08	8,19E+07
Prandtl number (Pr)	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00
Nusselt number (Nu)	1,98E+01	3,86E+01	5,83E+01	6,42E+01	6,47E+01	6,36E+01	4,94E+01
Film koefisien (h1)	2,00E+01	1,56E+01	1,35E+01	1,30E+01	1,30E+01	1,31E+01	1,43E+01
Panas yang hilang pada pelat <i>bottom</i>							
$\Delta x l/k$	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04
Panas yang hilang dari pelat <i>bottom</i> ke air laut							
Reynold number (Re)	1,07E+05	1,44E+05	1,40E+05	1,37E+05	1,44E+05	1,38E+05	1,27E+05
Prandtl number (Pr)	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00	5,80E+00
Stanton number (Nu)	9,03E-04	8,52E-04	8,57E-04	8,60E-04	8,52E-04	8,59E-04	8,73E-04
Film koefisien (h2)	2,76E+04	2,60E+04	2,62E+04	2,63E+04	2,60E+04	2,62E+04	2,67E+04

Lampiran 7. *Heat Loss* pada bagian *bottom* kapal (Bagian 2)

Data hasil perhitungan	<i>Ballast Tank</i>						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$1/h1$	5,01E-02	6,41E-02	7,41E-02	7,66E-02	7,69E-02	7,64E-02	6,99E-02
$\Delta x1/k$	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04	3,26E-04
$1/h2$	3,63E-05	3,85E-05	3,82E-05	3,81E-05	3,85E-05	3,81E-05	3,75E-05
Koesfisien perpindahan panas menyeluruh	1,98E+01	1,55E+01	1,34E+01	1,30E+01	1,30E+01	1,30E+01	1,42E+01
Luas permukaan	9,40E+00	8,26E+01	1,84E+02	2,26E+02	2,34E+02	2,20E+02	1,31E+02
$\Delta T$	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01
<i>Heat loss</i> (Watt)	7,82E+03	5,38E+04	1,03E+05	1,23E+05	1,27E+05	1,20E+05	7,84E+04
Total <i>heat loss</i> (Watt)	6,15E+05						



Lampiran 8. *Heat Loss* pada bagian *tank top* kapal (Bagian 1)

Data hasil perhitungan	<i>Ballast Tank</i>						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Panas yang hilang dari air balas ke pelat <i>tank top</i>							
Grashof number (Gr)	2,78E+07	1,36E+08	2,30E+08	3,72E+08	4,10E+08	3,72E+08	1,95E+08
Prandtl number (Pr)	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00	2,60E+00
Nusselt number (Nu)	3,79E+01	5,60E+01	6,38E+01	7,18E+01	7,36E+01	7,19E+01	6,12E+01
Film koefisien (h1)	1,57E+01	1,37E+01	1,31E+01	1,25E+01	1,24E+01	1,25E+01	1,33E+01
Panas yang hilang pada pelat <i>tank top</i>							
$\Delta x l / k$	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04
Panas yang hilang dari <i>tank top</i> ke udara di atas <i>tank top</i>							
Reynold number (Re)	5,76E+06	7,74E+06	7,51E+06	7,37E+06	7,74E+06	7,41E+06	6,82E+06
Prandtl number (Pr)	7,14E-01	7,14E-01	7,14E-01	7,14E-01	7,14E-01	7,14E-01	7,14E-01
Stanton number (Nu)	1,65E-03	1,55E-03	1,56E-03	1,57E-03	1,55E-03	1,57E-03	1,59E-03
Film koefisien (h2)	1,43E+01	1,35E+01	1,35E+01	1,36E+01	1,35E+01	1,36E+01	1,38E+01

Lampiran 9. *Heat Loss* pada bagian *tank top* kapal (Bagian 2)

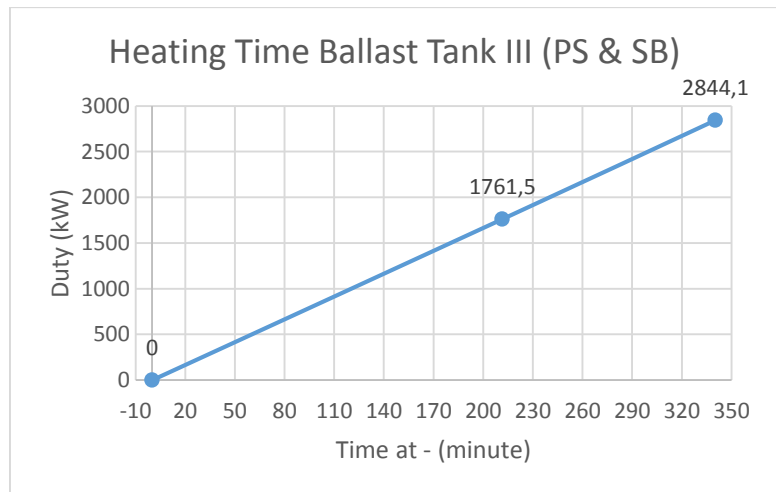
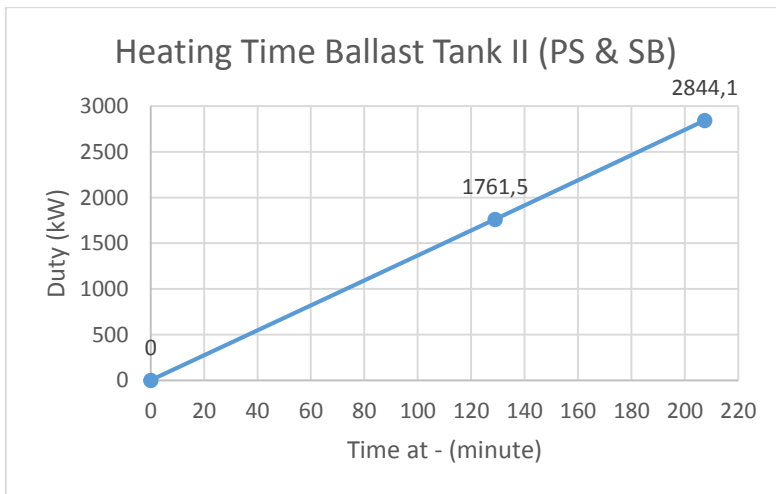
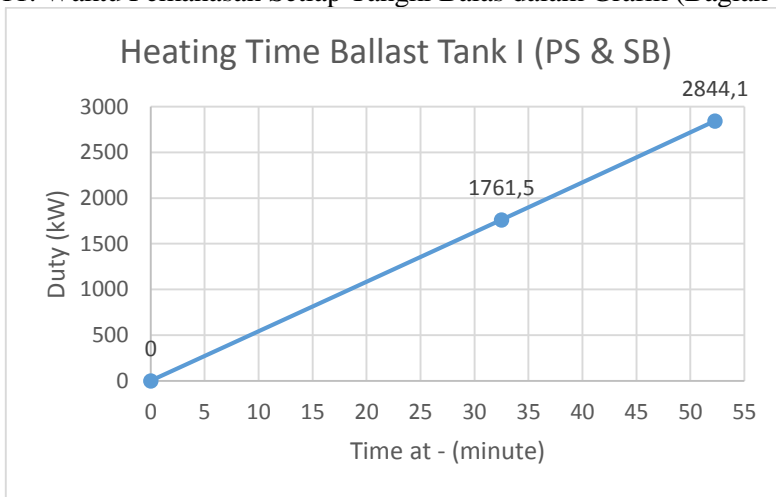
Data hasil perhitungan	<i>Ballast Tank</i>						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1/h1	6,37E-02	7,31E-02	7,65E-02	7,97E-02	8,04E-02	7,97E-02	7,54E-02
$\Delta x 1/k$	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,79E-04
1/h2	7,01E-02	7,43E-02	7,39E-02	7,36E-02	7,43E-02	7,37E-02	7,25E-02
Koesfisien perpindahan panas menyeluruh	7,46E+00	6,77E+00	6,64E+00	6,51E+00	6,45E+00	6,51E+00	6,75E+00
Luas permukaan	5,66E+01	1,74E+02	2,46E+02	3,01E+02	3,17E+02	2,96E+02	2,06E+02
$\Delta T$	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01	4,20E+01
<i>Heat loss</i> (Watt)	1,77E+04	4,95E+04	6,86E+04	8,22E+04	8,58E+04	8,08E+04	5,85E+04
Total <i>heat loss</i> (Watt)	4,43E+05						

Lampiran 10. Tabel Waktu Pemanasan tiap Tangki Balas terhadap Temperatur

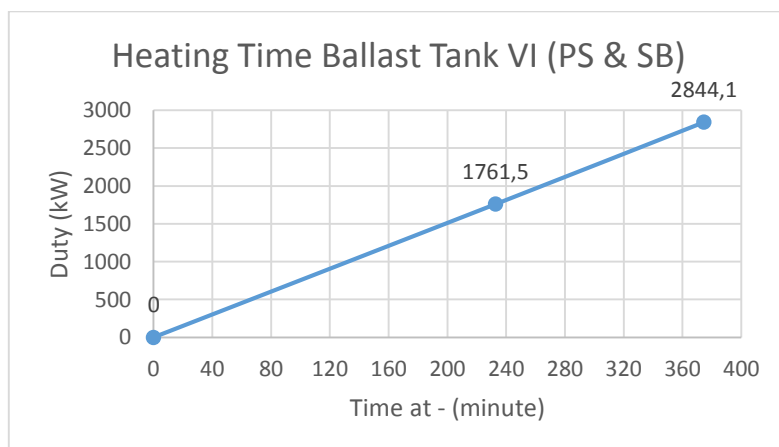
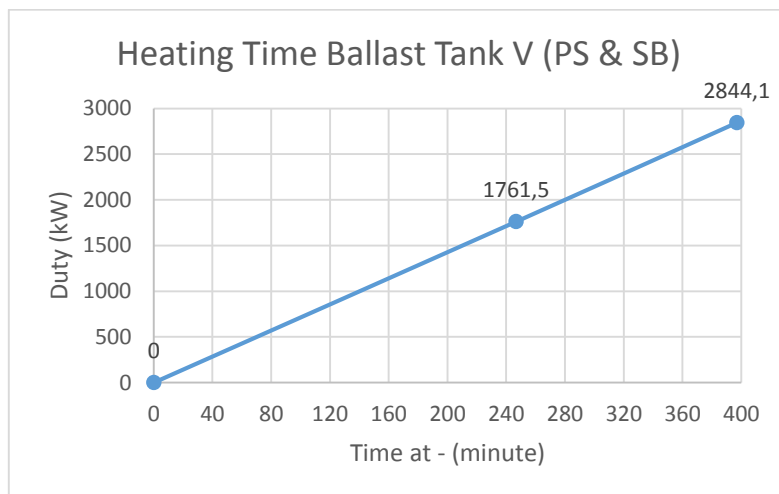
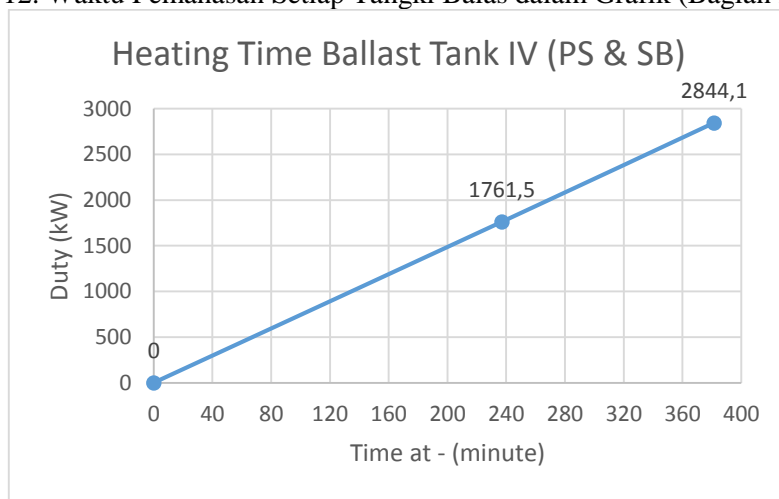
No. Tangki Balas	Volume Tangki Balas (m <sup>3</sup> )	Massa Air Laut (kg)	in Air Laut (kg/s)	Waktu Sirkulasi (menit)	Waktu pada T 40°C (menit ke - )	Waktu pada T 50°C (menit ke - )	Waktu pada T 60°C (menit ke - )	Waktu pada T 71°C (menit ke - )
I (PS)	30,5	31151,02	9,93	52,28	8,51	16,25	23,99	32,50
I (SB)	30,5	31151,02	9,93	52,28	8,51	16,25	23,99	32,50
II (PS)	121	123582,75	9,93	207,42	33,77	64,46	95,16	128,93
II (SB)	121	123582,75	9,93	207,42	33,77	64,46	95,16	128,93
III (PS)	198,5	202736,98	9,93	340,28	55,40	105,75	156,11	211,51
III (SB)	198,5	202736,98	9,93	340,28	55,40	105,75	156,11	211,51
IV (PS)	222,5	227249,26	9,93	381,42	62,09	118,54	174,99	237,08
IV (SB)	222,5	227249,26	9,93	381,42	62,09	118,54	174,99	237,08
V (PS)	231,5	236441,37	9,93	396,85	64,60	123,34	182,07	246,67
V (SB)	231,5	236441,37	9,93	396,85	64,60	123,34	182,07	246,67
VI (PS)	218,5	223163,88	9,93	374,56	60,98	116,41	171,84	232,82
VI (SB)	218,5	223163,88	9,93	374,56	60,98	116,41	171,84	232,82
VII (PS)	151,5	154733,77	9,93	259,71	42,28	80,71	119,15	161,43
VII (SB)	151,5	154733,77	9,93	259,71	42,28	80,71	119,15	161,43

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

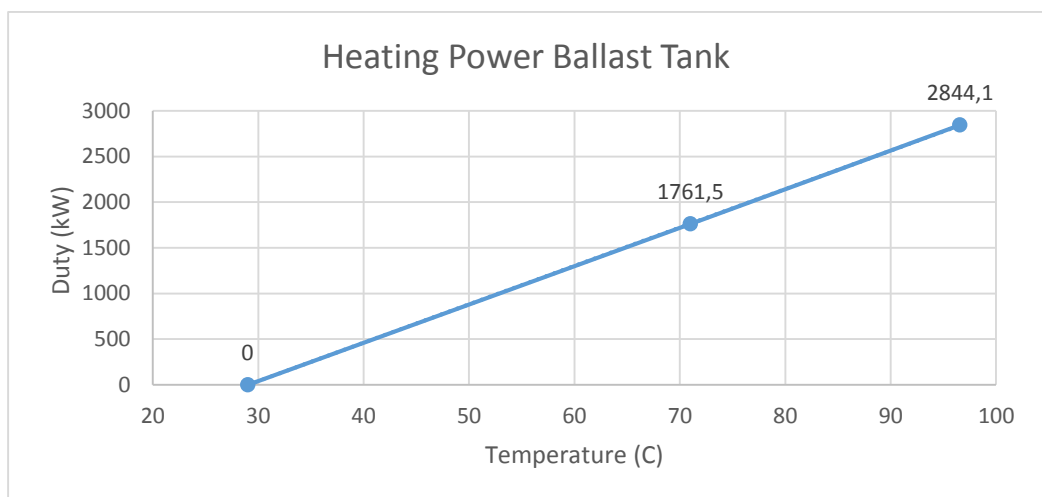
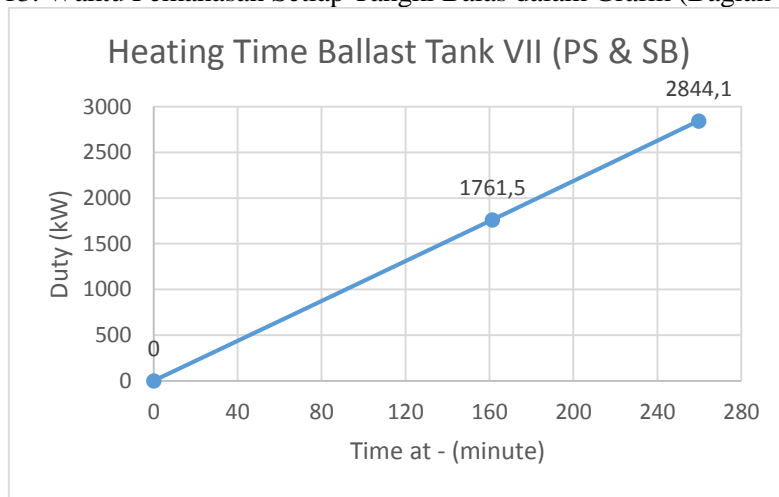
## Lampiran 11. Waktu Pemanasan Setiap Tangki Balas dalam Grafik (Bagian 1)



## Lampiran 12. Waktu Pemanasan Setiap Tangki Balas dalam Grafik (Bagian 2)



## Lampiran 13. Waktu Pemanasan Setiap Tangki Balas dalam Grafik (Bagian 3)



Lampiran 14. *Project Guide Fulton Thermal Oil Boiler*

## C-Model • Technical Details

### Specifications

Models	FT-C	0080	0120	0160	0240	0320	0400	0600	0800	1000	1200	1400
Heat Output	1,000 BTU/HR	800	1,200	1,600	2,400	3,200	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000
	1,000 KCAL/HR	200	300	400	600	800	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500
Thermal Fluid Content	GAL	10	21	19	31	68	76	132	171	290	383	460
	LITERS	38	80	72	116	258	288	498	648	1,097	1,448	1,741
Recommended Flow Rate	GPM	50	75	100	150	250	250	375	500	615	730	800
	M <sup>3</sup> /HR	11.4	17	22.7	34	56.8	56.8	85.2	113.6	139	167	182

### Approximate Fuel Usage

Light Oil *	GPH	7.1	10.7	14.3	21.4	28	35.3	53	69.3	87.1	104.5	122
	LPH	27	40.6	54.1	81	108.8	136	201	263.7	329.6	395.5	461.5
Natural Gas *	FT <sup>3</sup> /HR	998	1,498	1,998	2,999	4,000	4,997	7,498	9,997	12,496	14,998	17,500
	M <sup>3</sup> /HR	38.3	42.4	56.5	84.9	113.2	141.5	212.3	283	353.8	424.6	495.5

### Power

Typical Circulating Pump Motor	HP	10	10	15	15	20	20	30	40	50	50	60
	KW	7.5	7.5	11.2	11.2	14.9	14.9	22.5	29.5	37.3	37.3	45
Typical Burner Motor	HP	1.5	3	3	3	5	5	7.5	15	15	20	2.0
	KW	1.1	2.2	2.2	2.2	3.7	3.7	5.6	11.2	11.2	15	15

Voltage 3 Phase for Burner and Pump - Each unit has an incorporated stepdown transformer.

Fuel up to No. 6 Oil Available for Large Units. (FT-0600-C and larger)

Efficiency up to 80% Minimum Based on High Heating Value of the Fuel (No. 2 Oil @ 140,000 BTU/GHr; Natural Gas @ 1,000 BTU/r<sup>3</sup>HHV).

Circulating pump motor sizes based on standard pressure (55 PSIG) and viscosity 1 cs, specific gravity 0.7, with 25-37 PSID available head for installation.

All Units are Modulated. Operating specifications may change based on field conditions.

### Dimensions

Models	FT-C	0080	0120	0160	0240	0320	0400	0600	0800	1000	1200	1400
Heater Inlet/Outlet Connections	IN	1.25	1.5	2	2.5	3	3	4	4	6	6	6
	MM	32	38	51	64	76.3	76	102	102	152	152	152
(A) Overall Height	IN	73.7	80.7	80.6	89.7	100.6	112.4	143.6	143	146.5	146.4	163.1
	MM	1,872	2,050	2,046	2,278	2,556	2,856	3,648	3,632	3,721	3,718	4,144
(B) Heater Width	IN	31.6	34.4	45.9	50.1	49.3	49.3	63.4	70.5	95	108.4	108.4
	MM	803	873	1,165	1,273	1,252	1,252	1,611	1,791	2,413	2,753	2,753
(C) Overall Depth	IN	46.2	60.6	60.6	66.6	80.6	80.6	88.1	107.75	135.1	152.9	152.9
	MM	1,173	1,540	1,540	1,691	2,046	2,046	2,237	2,736	3,432	3,882	3,882
(D) Flue Outlet Diameter	IN	10	10	10	12	14	14	18	20	20	22	22
	MM	254	254	254	305	356	356	457	508	508	559	559
Recommended Vertical Stack Diameter	IN	10	12	12	14	18	18	22	24	24	26	26
	MM	254	304	304	356	457	457	558	609	609	661	661
Approx. Dry Weight	LB	1,500	2,100	2,550	3,400	5,300	5,300	8,250	11,450	19,250	21,700	23,000
	KG	700	950	1,150	1,550	2,400	2,400	3,750	5,200	8,750	9,850	10,455

\* Please consult factory for additional fuel options.

Specifications and Dimensions are approximate. Consult factory for model specific electrical requirements.

We reserve the right to change specifications and/or dimensions without notice.

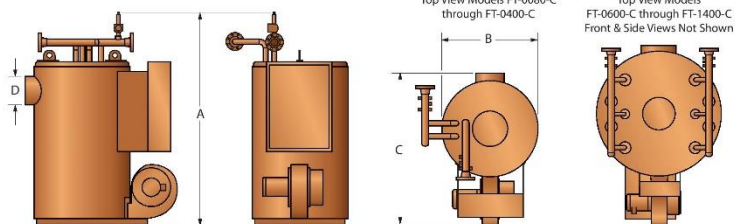


Diagram for guidance purposes only. Comprehensive details of dimensions, connections, etc. for each model are given on product dimension data sheets available from Fulton.



Lampiran 15. *Project Guide SILI Pump for Ballast Water Treatment Pump*

Shanghai SILI Pump Manufacture Co., Ltd

---Maritime pump specialist in China



Pump Specification(50Hz/380V/3phase, 2900rpm, 2 poles motor)

NO.	Model	Capacity (m³/h)	Capacity Range (m³/h)	Head (m)	Head range (m)	Shaft power (kw)	NPSHr	Power (kw)	Motor model	Wt (kg)
1	40CLZ-2	5	3.5 – 6.5	60	48 - 65	3.9	4	5.5	Y132S1-2H	172
2	40CLZ-2A	4	3 – 5.5	54	45 - 58	3.2	4	5.5	Y132S1-2H	172
3	50CLZ-4.5	12.5	9.5 – 14.5	32	27 - 35	2.5	4	3	Y100L-2H	155
4	50CLZ-4.5A	10	7.5 - 12	28	23 - 30	1.8	4	2.2	Y90L-2H	155
5	50CLZ-15	20	15 - 23	32	27 - 34	3.1	4	4	Y112M-2H	169
6	50CLZ-15A	17	12 - 20	28	23 - 30	2.4	4	3	Y100L-2H	168
7	50CLZ-9	27	20 - 30	14.5	12 - 15	1.4	4	2.2	Y90L-2H	154
8	50CLZ-9A	21	15 - 23	12	10 - 13	0.9	4	1.5	Y90S-2H	153
9	50CLZ-7	12.5	9 - 13	20	17 - 21	1.4	4	2.2	Y90L-2H	146
10	50CLZ-7A	10	7 - 11	17	14 - 18	1.1	4	1.5	Y90S-2H	145
11	50CLZ-3	12.5	9 - 13	50	42 - 52	4.9	4	5.5	Y132S	195
12	50CLZ-3A	10	7 - 11	45	38 - 48	3.2	4	4	Y112M-2H	193
13	50CLZ-4	20	15 - 22	50	42 - 52	6.1	4	7.5	Y132S2-2H	152
14	50CLZ-4A	17	12 - 19	46	39 - 49	5.0	4	5.5	Y132S1-2H	151
15	65CLZ-9	25	18 - 28	20	17 - 21	2.3	4	3	Y100L-2H	153
16	65CLZ-9A	21	15 - 23	17	14 - 18	1.6	4	2.2	Y90L-2H	152
17	65CLZ-6	25	18 - 28	32	27 - 34	4.2	4	5.5	Y132S1-2H	190
18	65CLZ-6A	21	15 - 23	28	23 - 30	3.1	4	4	Y112M-2H	188
19	65CLZ-5	25	18 - 28	45	38 - 48	6.7	4	7.5	Y132S2-2H	200
20	65CLZ-5A	30	22 - 34	35	29 - 37	6.0	4	7.5	Y132S2-2H	198
21	65CLZ-4.5	25	18 - 28	60	51 - 62	9.5	4	11	Y160M1-2H	225
22	65CLZ-4.5A	22	16 - 24	54	45 - 56	8.2	4	11	Y160M1-2H	253
23	65CLZ-3	25	18 - 28	80	68 - 83	7.1	4.2	8.5	Y160L-2H	240
24	65CLZ-3A	22	16 - 25	75	63 - 78	6.5	4.2	7.5	Y160M2-2H	238
25	65CLZ-8	35	26 - 39	32	27 - 34	5.6	4	7.5	Y132S2-2H	265
26	65CLZ-8A	32	24 - 36	28	23 - 30	5.0	4	5.5	Y132S1-2H	263
27	65CLZ-5.5	35	26 - 39	48	40 - 51	4.1	4	15	Y160M2-2H	293
28	65CLZ-5.5A	30	22 - 34	48	40 - 51	11	4	11	Y160M1-2H	290
29	80CLZ-13	45	33 - 51	21	17 - 22	8.3	5	5.5	Y132S1-2H	198
30	80CLZ-13A	40	30 - 45	18	15 - 19	4.1	5	4	Y112M-2H	197
31	80CLZ-9	50	37 - 57	32	27 - 34	3	5	11	Y160M1-2H	233
32	80CLZ-9A	45	33 - 51	28	23 - 30	8.1	5	7.5	Y132S2-2H	231
33	80CLZ-9B	45	33 - 51	25	21 - 27	5.5	5.5	7.5	Y132S2-2H	230
34	80CLZ-6	50	37 - 57	50	42 - 53	5.1	5	15	Y160M2-2H	270
35	80CLZ-6A	45	33 - 51	48	40 - 51	11.2	5	15	Y160M2-2H	268
36	80CLZ-7.5	60	45 - 68	50	42 - 53	10.9	4.5	8.5	Y160L-2H	253
37	80CLZ-7.5A	55	41 - 62	47	39 - 50	6.375	4.5	8.5	Y160L-2H	251
38	80CLZ-5.5	45	33 - 51	62	52 - 66	6.3	4.5	8.5	Y160L-2H	268

www.silipump.com

sales@silipump.com

CLZ maritime vertical self-priming centrifugal pump

Page 4

Lampiran 16. *Project Guide SILI Pump for Thermal Oil and Thermal Oil Tank Pump*



RY Thermal Oil Circulation Centrifugal Pump Catalogue

**Pump specification:**

For 50Hz pump, in 3phase/50Hz, speed 2900rpm(2 poles)

For 60Hz pump, in 3phase/60Hz, speed 3500rpm(2 poles)

Item	Model	50Hz				60Hz			
		Capacity (m3/h)	Head (m)	S.power (kw)	Power (kw)	Capacity (m3/h)	Head (m)	S.power (kw)	Power (kw)
1	RY65-50-160	20	32	3.17	5.5	24	44.8	5.2	7.5
2	RY65-40-200	30	48	6.3	7.5	36	67.2	10.4	11
3	RY65-40-200A	25	35	4.0	5.5	30	49	6.6	7.5
4	RY65-40-250	25	80	10.3	15	30	112	17.0	22
5	RY65-40-250A	20	51	5.67	7.5	24	71.4	9.4	11
6	RY65-40-315	25	125	18.9	30	30	175	31.2	37
7	RY65-40-315A	22.5	100	15.3	22	27	140	25.2	30
8	RY80-50-200	50	50	9.7	15	60	70	16.0	18.5
9	RY80-50-200A	45	40	7.8	11	54	56	12.9	15
10	RY80-50-200B	40	32	6.37	7.5	48	44.8	10.5	11
11	RY80-50-250	50	80	17.1	22	60	112	28.2	30
12	RY80-50-250A	43	60	12.8	15	51.6	84	21.1	22
13	RY80-50-315	50	125	30.4	45	60	175	50.2	55
14	RY80-50-315A	45	100	23.6	30	54	140	38.9	45
15	RY100-65-200	100	50	18.4	22	120	70	30.4	30
16	RY100-65-200A	94	44	16	22	112.8	61.6	26.4	30
17	RY100-65-200B	87	38	13.8	15	104.4	53.2	22.8	30
18	RY100-65-200C	80	32	11.8	15	96	44.8	19.5	22
19	RY100-65-250	100	80	32	37	120	112	52.8	55
20	RY100-65-250A	95	72	29	37	114	100.8	47.9	55
21	RY100-65-250B	90	65	26.2	30	108	91	43.2	45
22	RY100-65-250C	85	50	20.3	30	102	70	33.5	37
23	RY100-65-315	100	125	50.06	75	120	175	82.6	90
24	RY100-65-315A	95	113	45.2	55	114	158.2	74.6	90
25	RY100-65-315B	90	100	40.5	55	108	140	66.8	75
26	RY100-65-315C	82	84	34.7	45	98.4	117.6	57.3	75
27	RY125-100-200	200	50	35.4	45	240	70	58.4	55
28	RY125-100-200A	178	40	26.6	37	213.6	56	43.9	55
29	RY125-100-250	200	70	47	55	240	98	77.6	90
30	RY150-150-200	350	50	60	75	420	70	99.0	110
31	RY200-150-400(*)	350	50	52.8	75	420	70	87.1	110
32	RY250-200-400(*)	500	50	86.2	110	600	70	142.2	160
33	RY250-200-400(*)	500	80	136	160	600	112	224.4	250

(\*), 4 poles pump, speed 1450rpm in 50Hz, 1750rpm in 60Hz

Lampiran 17. Tabel Perhitungan *Packaging Cost* (Bagian 1)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	VOLUME (CM)			PACKAGING COST (RP)
				P	L	T	
1	<i>Economizer I</i>	1	<i>Item</i>	137,7	130	162,42	1.744.470
2	<i>Economizer II</i>	1	<i>Item</i>	137,7	130	162,42	1.744.470
3	<i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item</i>	480,1	168,9	213,36	10.379.810
4	<i>Pompa Thermal Oil</i>	3	<i>Item</i>	98,5	40	43,5	308.502
5	<i>Pompa Ballast Water Treatment</i>	2	<i>Item</i>	58,8	58,8	82,9	343.946
6	<i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item</i>	273,6	179,1	363,2	10.678.464
7	<i>Thermal Oil Fluid</i>	1	<i>Item</i>	175	175	175	3.215.625
8	<i>Pipa Ballast Water Treatment</i>	81	<i>Lot</i>	600	25,40	25,40	18.812.866
9	<i>Pipa Thermal Oil</i>	19	<i>Lot</i>	600	25,4	25,4	4.412.894
10	<i>90° Elbow (Ballast water Treatment)</i>	21	<i>Item</i>	76,2	76,2	76,2	5.574.879
11	<i>90° Elbow (Thermal oil)</i>	25	<i>Item</i>	76,2	76,2	76,2	6.636.761
12	<i>Tee (Ballast water treatment)</i>	17	<i>Item</i>	76,2	76,2	76,2	4.512.997
13	<i>Tee (thermal oil)</i>	4	<i>Item</i>	76,2	76,2	76,2	1.061.882
14	<i>Bell mouth pipe end</i>	14	<i>Item</i>	50,8	50,8	76,2	1.651.816
15	<i>Insulation pipe</i>	91	<i>Piece</i>	120	60	3,8	1.493.856
16	<i>Flexible Coupling</i>	12	<i>Item</i>	100	50,8	50,8	1.858.061
17	<i>Bulkhead Fitting Watertight Flange</i>	22	<i>Item</i>	50,8	50,8	50,8	1.730.474
18	<i>Strainer</i>	19	<i>Item</i>	76,2	76,2	76,2	5.043.938
19	<i>Flange</i>	142	<i>Item</i>	50,8	50,8	50,8	11.169.423
20	<i>Safety Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	50,8	50,8	76,2	235.974
21	<i>Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	5	<i>Item</i>	50,8	76,2	76,2	884.901
22	<i>Remotely Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	14	<i>Item</i>	50,8	76,2	76,2	2.477.724
23	<i>Screw Down Non Return Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	50,8	76,2	76,2	353.961
24	<i>Safety Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	50,8	50,8	76,2	353.961
25	<i>Butterfly Valve (Thermal Oil)</i>	8	<i>Item</i>	50,8	76,2	76,2	1.415.842

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	VOLUME (CM)			PACKAGING COST (RP)
26	Screw Down Non Return Valve (Thermal Oil)	3	Item	50,8	76,2	76,2	530.941
27	Thermal Oil Tank	3	Plate	609,6	152,4	0,8	133.780
28	Boiler Oil Tank II	6	Plate	609,6	152,4	0,8	267.561
29	Thermal Oil Expansion Tank	2	Plate	609,6	152,4	0,8	89.187
<b>TOTAL PACKAGING COST</b>							<b>Rp.99.118.966</b>

Lampiran 19. Biaya Investasi *Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler*  
(Bagian 1)

Biaya Investasi Komponen Utama

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	<i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item</i>	RP	94.921.965	94.921.965
2	<i>Pompa Thermal Oil</i>	3	<i>Item</i>	RP	17.386.200	52.158.600
3	<i>Pompa Ballast Water Treatment</i>	2	<i>Item</i>	RP	15.197.727	30.395.455
4	<i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item</i>	RP	570.755.511	570.755.511
5	<i>Thermal Oil Fluid</i>	1,78	m <sup>3</sup>	RP	23.456.070	41.751.805
<b>TOTAL COST (RP)</b>						789.983.335

Biaya Investasi Perlengkapan dan Accesories (Bagian 1)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	<i>Pipa Ballast Water Treatment*</i>	81	<i>Lot</i>	RP	9.265.800	750.529.800
2	<i>Pipa Thermal Oil*</i>	19	<i>Lot</i>	RP	22.739.250	432.045.750
3	<i>90° Elbow (Ballast water Treatment)</i>	21	<i>Item</i>	RP	995.100	20.897.100
4	<i>90° Elbow (Thermal oil)</i>	25	<i>Item</i>	RP	1.385.700	34.642.500
5	<i>Tee (Ballast water treatment)</i>	17	<i>Item</i>	RP	1.231.200	20.930.400
6	<i>Tee (thermal oil)</i>	4	<i>Item</i>	RP	1.499.500	5.998.000
7	<i>Bell mouth pipe end</i>	14	<i>Item</i>	RP	106.992	1.497.888
8	<i>Insulation pipe</i>	91	<i>Piece</i>	RP	64.864	5.902.615
9	<i>Flexible Coupling</i>	12	<i>Item</i>	RP	601.830	7.221.960
10	<i>Bulkhead Fitting Watertight Flange</i>	22	<i>Item</i>	RP	140.427	3.089.394
11	<i>Strainer</i>	19	<i>Item</i>	RP	1.269.072	24.112.372
12	<i>Flange</i>	142	<i>Item</i>	RP	379.500	53.889.000
13	<i>Safety Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	RP	962.259	1.924.519
14	<i>Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	5	<i>Item</i>	RP	3.343.500	16.717.500
15	<i>Remotely Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	14	<i>Item</i>	RP	3.871.773	54.204.822
16	<i>Screw Down Non Return Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	RP	1.203.660	2.407.320
17	<i>Safety Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	RP	962.259	2.886.778
18	<i>Butterfly Valve (Thermal Oil)</i>	8	<i>Item</i>	RP	3.343.500	26.748.000

Lampiran 20. Biaya Investasi *Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler*  
(Bagian 2)

Biaya Investasi Perlengkapan dan *Accesories* (Bagian 2)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
19	<i>Screw Down Non Return Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	RP	1.203.660	3.610.980
<b>TOTAL COST (RP)</b>						1.469.256.698

Biaya *additional tank*

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	UNIT COST		COST (RP)
1	<i>Thermal Oil Tank*</i>	9,4	m <sup>2</sup>	RP	1.737.295	16.330.574
2	<i>Boiler Oil Tank II*</i>	54	m <sup>2</sup>	RP	1.737.295	93.813.938
3	<i>Thermal Oil Expansion Tank*</i>	5,28	m <sup>2</sup>	RP	1.737.295	9.172.918
<b>TOTAL COST (RP)</b>						119.317.430

*Remarks*

\*Harga termasuk biaya instalasi

*Shipping Cost* (Bagian 1)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	ROUTE	VOLUME (m <sup>3</sup> )	COST (RP)
1	<i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item</i>	Jakarta	17,30	17.991.671
2	<i>Pompa Thermal Oil</i>	3	<i>Item</i>	Medan	42,85	5.848.684
3	<i>Pompa Ballast Water Treatment</i>	2	<i>Item</i>	Tangerang	0,29	596.173
4	<i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item</i>	Jakarta	31,05	32.293.564
5	<i>Thermal Oil Fluid</i>	1	<i>Item</i>	Bekasi	5,36	5.573.750
6	<i>Pipa Ballast Water Treatment</i>	81	<i>Lot</i>	Jakarta	0,39	32.608.967
7	<i>Pipa Thermal Oil</i>	19	<i>Lot</i>	Jakarta	0,39	7.649.017
8	<i>90° Elbow (Ballast water treatment)</i>	21	<i>Item</i>	Tangerang	0,01	280.946
9	<i>90° Elbow (Thermal oil)</i>	25	<i>Item</i>	Tangerang	0,01	334.460
10	<i>Tee (Ballast water treatment)</i>	17	<i>Item</i>	Tangerang	0,44	7.822.529
11	<i>Tee (Thermal oil)</i>	4	<i>Item</i>	Tangerang	0,44	1.840.595
12	<i>Bell mouth pipe end</i>	14	<i>Item</i>	Jakarta	0,20	2.863.148
13	<i>Insulation pipe</i>	91	<i>Piece</i>	Jakarta	0,03	2.589.350

Lampiran 21. Biaya Investasi *Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler*  
(Bagian 3)

*Shipping Cost* (Bagian 2)

14	<i>Flexible Coupling</i>	12	<i>Item</i>	Jakarta	0,26	3.220.639
15	<i>Bulkhead Fitting Watertight Flange</i>	22	<i>Item</i>	Jakarta	0,13	2.999.488
16	<i>Strainer</i>	19	<i>Item</i>	Jakarta	0,44	8.742.826
17	<i>Flange</i>	142	<i>Item</i>	Tangerang	0,13	19.360.333
18	<i>Safety Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	Jakarta	0,20	409.021
19	<i>Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	5	<i>Item</i>	Jakarta	0,29	1.533.829
20	<i>Remotely Butterfly Valve (Ballast Water Treatment)</i>	14	<i>Item</i>	Jakarta	0,29	4.294.722
21	<i>Screw Down Non Return Valve (Ballast Water Treatment)</i>	2	<i>Item</i>	Tangerang	0,29	613.532
22	<i>Safety Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	Jakarta	0,20	613.532
23	<i>Butterfly Valve (Thermal Oil)</i>	8	<i>Item</i>	Jakarta	0,29	2.454.127
24	<i>Screw Down Non Return Valve (Thermal Oil)</i>	3	<i>Item</i>	Tangerang	0,29	920.298
25	<i>Thermal Oil Tank</i>	2	<i>Plate</i>	Jakarta	0,07	154.591
26	<i>Boiler Oil Tank II</i>	6	<i>Plate</i>	Jakarta	0,07	463.772
27	<i>Thermal Oil Expansion Tank</i>	1	<i>Plate</i>	Jakarta	0,07	77.295
<b>SHIPPING COST (RP)</b>						Rp.164.150.859
<b>INSURANCE (0,3%) (RP)</b>						Rp.7.135.672
<b>ADMINISTRATION COST (RP.15.000/SHIPMENT) (RP)</b>						Rp.405.000
<b>PACKAGING COST (P X L X T X 0,6/ITEM) (RP)</b>						Rp.103.493.278
<b>TOTAL SHIPPING COST (RP)</b>						Rp.275.184.809

Tabel Perhitungan *Packaging Cost* (Bagian 1)

NO.	ITEMS	QTY	UNIT	VOLUME (CM)			PACKAGING COST (RP)
				P	L	T	
1	<i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item</i>	480,1	168,9	213,36	10.379.810
2	<i>Pompa Thermal Oil</i>	3	<i>Item</i>	98,5	40	43,5	308.502
3	<i>Pompa Ballast Water Treatment</i>	2	<i>Item</i>	58,8	58,8	82,9	343.946
4	<i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item</i>	344	242	373	18.630.902
5	<i>Thermal Oil Fluid</i>	1	<i>Item</i>	175	175	175	3.215.625





Lampiran 23. Biaya Investasi *Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler*  
(Bagian 5)

Biaya Instalasi

NO.	JOB ITEMS	QTY	WORKS VOLUME		VOLUME COST (RP)	COST (RP)
1	Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	1	<i>Item.Job</i>	1	7.593.757	7.593.757
2	Pemasangan <i>Thermal Oil Boiler</i>	1	<i>Item.Job</i>	1	45.660.441	45.660.441
3	Pemasangan Pompa	5	<i>Item.Job</i>	1	1.390.896	6.954.480
4	Pemasangan Valve	37	<i>Item.Job</i>	1	309.742	11.460.448
<b>TOTAL COST (RP)</b>						71.669.126

*Grand Total Investment Cost*

NO.	SUMMARY	COST (RP)
1	<i>Investment Cost (Main Component, Equipment and Accessories, Additional Tank)</i>	2.378.557.464
2	<i>Shipping Cost</i>	275.184.809
3	<i>Installation Cost</i>	71.669.126
4	PPN (10%)	272.541.140
5	<i>Design Cost (10%)</i>	272.541.140
<b>GRAND TOTAL INVESTMENT COST</b>		3.270.493.679

Lampiran 24. *Biaya Maintenance Ballast Water Heating Treatment with Thermal Oil Boiler*

<b>NO.</b>	<b>ITEMS</b>	<b>COST</b>
1	<i>Maintenance Cost per Year (4% from Grand Total Investment Cost)</i>	Rp.130.819.747
2	<i>Maintenance Cost per Month</i>	Rp.10.901.646

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 06 Juli 1995 dari pasangan R. Yudi Bambang dan Mumtasiroh dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Mutiara 17 Agustus I Bekasi (2001-2007), SMP Negeri 92 Jakarta (2007-2010), SMA Negeri 12 Jakarta (2010-2013). Setelah lulus dari SMA tahun 2013, penulis melalui jalur SNMPTN Undangan melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan dan terdaftar dengan NRP. 4213100044. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil bidang *Marine Machinery and System* (MMS). Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan di lingkup ITS, baik tingkat jurusan, fakultas, maupun tingkat institut. Selain sebagai panitia, penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan dan kegiatan kemahasiswaan lainnya. Pada tahun kedua penulis menjadi Staff Departemen Hubungan Luar HIMASISKAL, Staff Komunikasi dan Informasi BEM ITS serta menjadi salah satu delegasi Indonesia terpilih pada *Young Social Entrepreneurs* di Singapura. Pada tahun ketiga penulis menjadi Asisten Manager Pemasaran BSO Vivat Press BEM ITS, menjadi finalis PKM-GT Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) ke 28 di Universitas Halu Oleo, Kendari, dan menjadi delegasi Indonesia terpilih pada *Youth Culture Exchange* di Cambodia.

Penulis juga pernah memenangkan berbagai perlombaan selama tahun ke tiga yaitu meraih juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) *Engineering Student for Research* di Unissula Semarang, meraih juara 3 pada LKTI *Agrotech's Fair* di UNS Solo, dan meraih juara 2 pada LKTI *Unej Creative Competition* di Universitas Jember. Pada tahun keempat, penulis menjadi Grader Praktikum Mesin Fluida. Beberapa seminar tentang teknologi, maritim dan kepemudaan baik tingkat institut maupun tingkat nasional pernah diikuti penulis dalam rangka pengembangan diri dan menambah wawasan.

Pada tahun 2015, penulis mengikuti kerja praktek I di PT. Dok Kodja Bahari (DKB) Galangan II Jakarta dan pada tahun 2016, penulis mengikuti kerja praktek II di PT. YTL Jawa Timur, PLTU Paiton Unit 5 dan 6, Jawa Timur. Penulis menyelesaikan studi S1 dalam waktu delapan semester. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir, serta ingin memberikan kritik dan saran, penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini.

Rizky Praditya Ardian

Mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS

rizkypradityar@gmail.com